

**KARAKTERISASI SENSOR QCM DENGAN PELAPISAN BAHAN
AKTIF MEMBRAN LIPID *OLEIC ACID* PADA RESPON
ELEKTRODA PERAK TERHADAP HCl**

SKRIPSI

Oleh:

ARUM SINDA SANTIKA

NIM. 14640040



**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2018**

**KARAKTERISASI SENSOR QCM DENGAN PELAPISAN BAHAN
AKTIF MEMBRAN LIPID *OLEIC ACID* PADA RESPON
ELEKTRODA PERAK TERHADAP HCl**

SKRIPSI

Diajukan Kepada:

**Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang
Untuk Memenuhi Salah Satu Persyaratan Dalam
Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)**

Oleh:

**ARUM SINDA SANTIKA
NIM. 14640040**

**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG**

HALAMAN PERSETUJUAN

**KARAKTERISASI SENSOR QCM DENGAN PELAPISAN BAHAN
AKTIF MEMBRAN LIPID *OLEIC ACID* PADA RESPON
ELEKTRODA PERAK TERHADAP HCl**

SKRIPSI

Oleh:
Arum Sinda Santika
NIM. 14640040

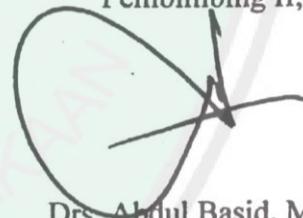
Telah diperiksa dan disetujui untuk Diuji,
Pada tanggal : 04 Oktober 2018

Pembimbing I,



Dr. Imam Tazi, M.Si
NIP. 19740730 200312 1 002

Pembimbing II,



Drs. Abdul Basid, M.Si
NIP. 19650504 199003 1 003

Mengetahui,
Dua Jurusan Fisika



Drs. Abdul Basid, M.Si
NIP. 19650504 199003 1 003

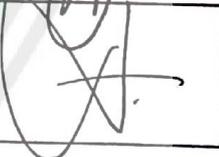
HALAMAN PENGESAHAN

KARAKTERISASI SENSOR QCM DENGAN PELAPISAN BAHAN AKTIF MEMBRAN LIPID *OLEIC ACID* PADA RESPON ELEKTRODA PERAK TERHADAP HCl

SKRIPSI

Oleh:
Arum Sinda Santika
NIM. 14640040

Telah Dipertahankan di Depan Dewan Penguji Skripsi dan
Dinyatakan Diterima sebagai Salah Satu Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)
Tanggal: 12 November 2018

Penguji Utama	:	<u>Dr. H. Mokhamad Tirono, M.Si</u> NIP. 19641211 199111 1 001	
Ketua Penguji	:	<u>Erna Hastuti, M.Si</u> NIP. 19811119 200801 2 009	
Sekretaris Penguji	:	<u>Dr. Imam Tazi, M.Si</u> NIP. 19740730 200312 1 002	
Anggota Penguji	:	<u>Drs. Abdul Basid, M.Si</u> NIP. 19650504 199003 1 003	



Mengesahkan,
Ketua Jurusan Fisika


Abdul Basid, M.Si
NIP. 19650504 199003 1 003

PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Arum Sinda Santika
NIM : 14640040
Jurusan : Fisika
Fakultas : Sains Dan Teknologi
Judul Penelitian : Karakterisasi Sensor QCM dengan Pelapisan Bahan Aktif Membran Lipid *Oleic Acid* pada Respon Elektroda Perak terhadap HCl

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri, bukan merupakan pengambil-alihan data, tulisan, atau pikiran orang lain yang saya akui sebagai hasil tulisan atau pikiran saya sendiri, kecuali dengan mencantumkan sumber kutipan pada daftar pustaka. Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan skripsi ini hasil jiplakan, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Malang, 5 Oktober 2018
Yang Membuat Pernyataan,



Arum Sinda Santika
NIM. 14640040

MOTTO

“Yakinlah, ada sesuatu yang menantimu setelah banyak kesabaran yang kau jalani, yang akan membuatmu terpana hingga kau lupa pedihnya rasa sakit”

(Ali ibn Abi Thalib)

“خير الناس انفعهم للناس”

“Sebaik-baik manusia adalah ia yang bermanfaat bagi manusia lainnya”



HALAMAN PERSEMBAHAN

Dengan mengucapkan syukur sedalam-dalamnya kepada Allah SWT.
penulis persembahkan karya tulis ini teruntuk kedua orangtua tercinta,

“Ayah Sindhu Priyanto dan Ibu Widayati”

Terimakasih atas do’a, restu, dan dukungan yang tiada hentinya.



KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur kepada Allah SWT yang telah memberikan segala rahmat dan nikmatnya berupa kesehatan, kesempatan, kekuatan, keinginan, serta kesabaran, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik. Skripsi yang telah penulis susun ini berjudul “Karakterisasi Sensor QCM dengan Pelapisan Bahan Aktif Membran Lipid *Oleic Acid* pada Respon Elektroda Perak terhadap HCl”. Sholawat serta salam penulis panjatkan kepada Rasulullah Muhammad SAW, yang telah menuntun manusia dari zaman jahiliyah menuju zaman yang terang benderang, yang penuh dengan ilmu pengetahuan luar biasa saat ini.

Penulis menyadari bahwa penulisan skripsi ini tidak akan tersusun dengan baik tanpa adanya bantuan dari pihak-pihak yang terkait. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu penulis dalam penyusunan penulisan skripsi ini.

Selanjutnya kami ucapkan terima kasih kepada:

1. Prof. Dr. H. Abdul Haris, M.Ag selaku Rektor Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
2. Dr. Sri Harini, M.Si selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
3. Drs. Abdul Basid, M.Si selaku Ketua Jurusan Fisika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
4. Dr. Imam Tazi, M.Si selaku dosen pembimbing Jurusan Fisika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
5. Ibu Erika Rani, M.Si selaku dosen wali.
6. Segenap laboran dan staff Jurusan Fisika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
7. Kedua orang tua, adik dan keluarga yang selalu mendoakan serta memberi dukungan yang berharga.
8. Segenap anggota *sensor team* Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang yang telah membantu penyusunan proposal ini baik dari segi ide dan waktu.

9. Teman-teman fisika instrumentasi dan komputasi yang selalu memberikan dukungan dan bantuan dalam penyusunan skripsi ini.
10. Teman sevisi Auliya Rahmatul Ummah yang selalu ada untuk saling mendukung.
11. Sahabat-sahabat kewirausahaan ‘Makkin’ yang selalu memberi saran dan perhatiannya.
12. Kawan-kawan fisika 2014 yang saya banggakan dan semua pihak yang telah membantu penyusunan skripsi ini yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu.

Malang, 4 Oktober 2018

Penulis



DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PERSETUJUAN	iii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN	v
MOTTO	vi
HALAMAN PERSEMBAHAN	vii
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
ABSTRAK	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	5
1.3 Tujuan Penelitian	5
1.4 Batasan Masalah	6
1.5 Manfaat Penelitian	6
BAB II KAJIAN TEORI	8
2.1 Tinjauan Pustaka	8
2.2 Dasar Teori	10
2.2.1 Indera Pengecap	10
2.2.2 Sensor <i>Quartz Crystal Microbalance</i> (QCM)	10
2.2.3 Rasa Asam	14
2.2.4 Membran Lipid	15
2.2.5 <i>Oleic Acid</i>	18
2.2.6 Interaksi Membran dengan Larutan Sampel	20
2.2.7 Osilator	21
2.2.8 <i>Frequency Counter</i>	25
2.2.9 <i>Arduino Micro</i>	26
2.2.10 <i>QCM Arduino Shield</i>	27
2.3 Sensor dalam Tinjauan Al-Qur'an	28
BAB III METODE PENELITIAN	30
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	30
3.2 Alat dan Bahan Penelitian	30
3.2.1 Alat-Alat Penelitian	30
3.2.2 Bahan Penelitian	31
3.3 Diagram Alir Penelitian	31
3.4 Tahap Persiapan	32
3.5 Tahap Pengambilan Data	35
3.5.1 Tahap Pengambilan Data Frekuensi Dasar (<i>f₀</i>)	35
3.5.2 Tahap Pengambilan Data HCl Sebelum Pelapisan Membran	36
3.5.3 Tahap Pengolahan Data HCl Setelah Pelapisan Membran	37
3.6 Pengolahan Data	38
3.7 Analisis Data	40

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	41
4.1 Data Hasil Penelitian.....	43
4.1.1 Sistem Akuisisi Data	43
4.1.2 Preparasi Sampel	49
4.1.3 Proses Pengujian Sampel.....	51
4.1.4 Data Hasil Pengujian Sampel HCl.....	54
4.2 Pembahasan.....	67
4.3 Kajian Integrasi Islam	70
BAB V PENUTUP	72
5.1 Kesimpulan	72
5.2 Saran	73
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Hasil Pengujian Senyawa Asam.....	9
Gambar 2.2	<i>Quartz Crystal Microbalance</i> (QCM).....	11
Gambar 2.3	Bentuk Potongan AT Kristal Kuarsa.....	13
Gambar 2.4	Reseptor Rasa pada Lidah.....	16
Gambar 2.5	Struktur Permukaan dari Lipid atau Membran Polimer.....	17
Gambar 2.6	Macam-Macam Struktur Kimia Lipid.....	18
Gambar 2.7	Macam-Macam Struktur Kimia <i>Plasticizer</i>	18
Gambar 2.8	Struktur Kimia <i>Oleic Acid</i>	20
Gambar 2.9	Interaksi Membran dengan Sampel.....	20
Gambar 2.10	Resonator Kristal <i>Butterworth Van Dyke</i> (BVD).....	23
Gambar 2.11	<i>Arduino Micro</i>	27
Gambar 2.12	QCM <i>Arduino Shield</i>	28
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian.....	31
Gambar 3.2	Proses Pembuatan Membran.....	33
Gambar 3.3	Rencana Analisis <i>Response Time</i> Sensor.....	39
Gambar 3.4	Rencana Analisis Deteksi Limit Sensor.....	40
Gambar 4.1	Sistem Pengujian Sensor QCM dengan Sampel HCl.....	41
Gambar 4.2	Sensor QCM Sebelum Dilapisi oleh Membran.....	44
Gambar 4.3	Membran Lipid Aktif <i>Oleic Acid</i>	45
Gambar 4.4	Sensor QCM dalam <i>Spin Coater</i>	46
Gambar 4.5	Rangkaian OpenQCM.....	47
Gambar 4.6	Tampilan Awal <i>Software</i> OpenQCM 1.2.....	47
Gambar 4.7	Tampilan <i>Software</i> OpenQCM 1.2 pada Saat Pengujian.....	48
Gambar 4.8	Tampilan <i>Software</i> Pengolah Data OriginPro 2017.....	49
Gambar 4.9	Rangkaian Alat Pengujian Sampel.....	52
Gambar 4.10	<i>Response time</i> HCl tanpa Membran <i>Oleic Acid</i>	57
Gambar 4.11	<i>Response time</i> HCl dengan Membran <i>Oleic Acid</i>	58
Gambar 4.12	Hasil Pengujian <i>Response Time</i> Sensor QCM dengan Sampel.....	59
Gambar 4.13	Pengaruh Konsentrasi HCl terhadap Sensor QCM.....	60
Gambar 4.14	Pengaruh Konsentrasi HCl terhadap Sensor QCM dengan Pelapisan Membran Lipid <i>Oleic Acid</i>	61
Gambar 4.15	Plot Daerah Kerja Sensor QCM Tanpa Membran Lipid <i>Oleic Acid</i>	64
Gambar 4.15	Plot Daerah Kerja Sensor QCM dengan Membran Lipid <i>Oleic Acid</i>	65

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Indeks Rasa Relatif dari Berbagai Bahan	15
Tabel 3.1	Alat-Alat Penelitian.....	30
Tabel 3.2	Bahan-Bahan Penelitian.....	31
Tabel 3.3	Rencana Data Frekuensi Dasar	36
Tabel 3.4	Rencana Data HCl Sebelum Pelapisan	37
Tabel 3.5	Rencana Variasi Sampel HCl.....	38
Tabel 4.1	Pengenceran Asam Klorida (HCl)	51
Tabel 4.2	Hasil Pengujian Frekuensi Dasar (f_0).....	54
Tabel 4.3	Data Hasil Pengujian Sampel HCl.....	55
Tabel 4.4	Hasil Analisis <i>Response Time</i> Sensor QCM.....	58
Tabel 4.5	Analisis Deteksi Limit Sensor QCM Hasil Analisis <i>Response Time</i> Sensor QCM.....	63
Tabel 4.6	Analisis Regresi Linear Pengujian Sensor QCM Tanpa Membran	64
Tabel 4.5	Analisis Regresi Linear Pengujian Sensor QCM dengan Membran	65
Tabel 4.8	Hasil Analisis Sensitivitas Sensor.....	66

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 Dokumentasi Penelitian**
- Lampiran 2 Data Hasil Pengujian terhadap Sampel HCI**
- Lampiran 3 Bukti Konsultasi Skripsi**



ABSTRAK

Santika, Arum Sinda. 2018. Karakterisasi **Sensor QCM dengan Pelapisan Bahan Aktif Membran Lipid Oleic Acid pada Respon Elektroda Perak terhadap HCl**. Skripsi. Jurusan Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim, Malang. Pembimbing: (I) Dr. Imam Tazi, M.Si. (II) Drs. Abdul Basid, M.Si.

Kata Kunci: Sensor QCM, Membran Lipid, HCl, *Response time*, Deteksi limit, Sensitivitas

Teknologi sensor banyak digunakan di industri untuk memudahkan proses produksi. Industri produsen makanan dan minuman masih menggunakan indera manusia sebagai kontrol kualitas rasa. Indera manusia masih memiliki kelemahan yaitu tingkat objektivitas yang rendah, kurang konsisten, dan sulit diprediksi. Penggunaan sensor sebagai pengontrol kualitas rasa memiliki tingkat kepekaan rasa yang tinggi dan lebih efisien. Penelitian ini merupakan salah satu sensor yang dapat digunakan untuk mendeteksi rasa. Tujuan penelitian ini yaitu untuk mengkarakterisasi respon sensor *Quartz Crystal Microbalance* yang telah dilapisi membran lipid *Oleic Acid* terhadap sampel HCl. Faktor karakteristik yang diuji yaitu *response time*, deteksi limit, dan sensitivitas sensor. Pengujian dilakukan pada konsentrasi 0,1 M – 1 M dengan interval 0,05 M. Variasi sensor yang digunakan dalam penelitian ini adalah sensor QCM sebelum dilapisi membran dan sensor yang telah dilapisi membran. Hasil *output* sensor yang dianalisis berupa frekuensi osilasi sensor. Hasil *response time* sensor QCM dengan membran lipid lebih cepat merespon sensor dengan nilai sebesar 12 s untuk sampel HCl. Deteksi limit pada pengujian sampel HCl menggunakan sensor QCM tanpa membran bekerja pada konsentrasi sampel yang lebih kecil dari pada sensor QCM yang dilapisi membran yaitu 0,2 M. Hasil sensitivitas sensor menunjukkan bahwa sensor QCM tanpa dilapisi membran lebih sensitif terhadap sampel HCl dengan nilai sensitivitas 2.619.780 Hz/M lebih besar dari pada sensor yang dilapisi membran. Hasil sensitivitas ini menunjukkan bahwa sensor QCM tanpa pelapisan membran lipid *Oleic Acid* lebih selektif dalam merespon rasa asam yang diwaliki oleh sampel HCl.

ABSTRACT

Santika, Arum Sinda. 2018. **Characterization of QCM Sensors with The Coating of *Oleic Acid* Active Lipid Membran of Silver Electrode Response on HCl**. Thesis. Physics Department, Faculty of Science and Technology, State Islamic University Maulana Malik Ibrahim of Malang. Advisors: (I) Dr. Imam Tazi, M.Si. (II) Drs. Abdul Basid, M.Si.

Key Words: QCM Sensors, Lipid Membran, HCl, Response time, Limit Detection, Sensitivity

Sensor technology is widely used in industry to facilitate the production process. Food and beverage manufacturers of industrial still use the human senses as a taste quality control. Human sense still has weaknesses, such as low levels of objectivity, lack of consistency, and unpredictability. The use of sensors to control the quality of taste has a high sensitivity and more efficient. This research is one of the sensors that can be used to detect taste. The purpose of this study was to characterize the response of a Quartz Crystal Microbalance sensor that has been coated with an *Oleic Acid* lipid membran for HCl samples. The characteristic factors tested were response time, limit detection, and sensor sensitivity. Tests were carried out at concentrations of 0.1 M - 1 M at intervals of 0.05 M. The sensor variations used in this study were QCM sensors before being coated with membrans and sensors that had been coated with membrans. The sensor output is analyzed in the form of sensor oscillation frequency. The response time of QCM sensors with lipid membrans responses to sensors faster with a value of 12 s for HCl samples. Boundary detection in HCl sample testing using QCM sensor without membran, works at a smaller sample concentration than membran-coated sensor which is 0.2 M. The results of sensor sensitivity indicate that the QCM sensor without membran is more sensitive to HCl samples with a sensitivity value of 2,619,780 Hz / M is bigger than membran-coated sensor. The results of this sensitivity indicate that the QCM sensor without *Oleic Acid* lipid membran layer is more selective in response to the acidic taste represented by HCl samples.

ملخص البحث

سانتيكا، أروم سيندا. 2018. توصيف رقابة (*Quartz Crystal Microbalance*) QCM مع طلاء المواد الفعالة للأغشية الدهنية لحمض الأوليك (*Oleic Acid*) في أقطاب الكهربي الفضة على استجابة لحمض الهيدروكلوريك (HCl). البحث الجامعي. قسم الفيزياء ، كلية العلوم والتكنولوجيا ، جامعة مولانا مالك إبراهيم الإسلامية الحكومية، مالانج. الاشراف: (الاول) الدكتور إمام تازي، الماجستير والدكتور عبد الباسط، الماجستير

الكلمات الرئيسية: الرقابة QCM، الأغشية الدهنية، حمض الهيدروكلوريك (HCl)، زمن الاستجابة، والكشف الحد، والحساسية

تستخدم تكنولوجيا الرقابة في الصناعة الواسعة لتسهيل عملية الإنتاج. الصناعات المنتجة للأغذية والمشروبات مازال تستخدم الحواس البشرية كمراقبة جودة الطعام. الحواس البشرية تعاني من ضعف اي مستويات الموضوعية المنخفضة، أقل اتساقاً، ويصعب أن يتنبؤ به. إن استخدام الرقابة كمحكم بجودة الذوق ولديه الحساسية العالية وأكثر كفاءة. هذا البحث هو واحد من الرقابات التي تمكن أن تستخدمها للكشف عن الذوق. الاهداف البحث هي لوصف استجابة الرقابة QCM المغلف بأغشية حمض الأوليك الحمضي على عينات حمض الهيدروكلوريك. العوامل المميزة هي زمن الاستجابة، وكشف الحد، وحساسية الرقابة. أجريت الاختبارات بتركيزات 0.1 متر إلى 1 متر على فترات متفاوتة 0.05م. اختلاف الرقابة هو الرقابة QCM قبل تغلفها بالأغشية والرقابة المغلفة بالأغشية. تم تحليل نتائج لخرج الرقابة بشكل تردد تذبذب الرقابة. نتائج زمن استجابة لرقابة QCM مع الغشاء الدهني هي أسرع مع قيمة 12 دقائق لعينات HCl. استخدم كشف الحد على اختبار عينة HCl برقابة QCM بدون غشاء في تركيز عينة أصغر من الرقابة QCM المغلفة بالغشاء وهو 0.2 م. دلت نتائج حساسية الرقابة إلى أنه دون تغلف الغشاء أكثر حساسية لعينات HCl مع قيمة حساسية 2.619.780 هرتز/م أكبر من الرقابة المغلفة بالغشاء. دلت نتائج الحساسية إلى أن رقابة QCM بدون طلاء الغشاء الدهني لحمض الأوليك (*Oleic Acid*) هي أكثر انتقائية في استجابة طعم الحامض التي توكل بعينة HCl.

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang

Teknologi pada era modern ini tidak pernah lepas dari kehidupan sehari-hari, pagi hingga malam teknologi sangat dibutuhkan untuk membantu setiap kegiatan-kegiatan manusia. Perkembangan teknologi hingga kini sangatlah pesat, hal ini menunjukkan semakin majunya zaman. Al-Qur'an surah Yunus ayat 101 juga menjadi motivasi ilmuwan-ilmuwan muslim untuk mengembangkan teknologi diberbagai bidang. Firman Allah SWT dalam surat Yunus (10) ayat 101 yaitu sebagai berikut:

قُلْ أَنْظَرُوا مَاذَا فِي السَّمَوَاتِ وَالْأَرْضِ وَمَا تُغْنِي الْآيَاتُ وَالنُّذُرُ عَنْ قَوْمٍ لَا يُؤْمِنُونَ ﴿١٠١﴾

Katakanlah, "Perhatikanlah apa yang ada di langit dan di bumi! Tidaklah bermanfaat tanda-tanda (kebesaran Allah) dan rasul-rasul yang memberi peringatan bagi orang yang tidak beriman". (Q.S. Yunus [10]: 101)

Surat Yunus ayat 101 ini memberikan pesan yang sangat kuat bahwa Islam adalah agama ilmu pengetahuan. Islam bukan hanya menghargai ilmu pengetahuan, melainkan secara aktif menyuruh, memerintahkan pemeluknya untuk memperhatikan alam sekitar dan mempelajarinya dengan mempergunakan akal yang dikaruniakan Allah SWT. Berbagai penemuan baru ditemukan oleh para ilmuwan hingga dapat dimanfaatkan oleh manusia. Penemuan-penemuan teknologi baru ini merambah ke berbagai bidang, misal pada industri, pemerintahan, ekonomi dan lain sebagainya.

Industri-industri di Indonesia sekarang banyak menggunakan teknologi automisasi, dimana alat produksi bukan lagi manusia tetapi digantikan oleh robot.

Namun terdapat industri-industri yang memproduksi makanan sampai saat ini masih menggunakan indera manusia sebagai kontrol kualitas rasa makanan yang diproduksi. Tester manusia dianggap informasi yang paling realistis terhadap rasa makanan. Padahal lidah manusia masih mempunyai kelemahan dalam mendeteksi sebuah rasa yaitu memiliki tingkat objektivitas yang rendah, kurang konsisten, dan sulit diprediksi. Hal ini dikarenakan sifat manusiawi yang cenderung bergantung kepada individual dan keanekaragaman selera manusia. Selain itu juga, terdapat faktor kelelahan, mental dan kurang sensitifan yang dapat mempengaruhi rasa makanan yang dirasakan.

Berbagai masalah tersebut, memunculkan sebuah alternatif yang kebanyakan digunakan oleh industri makanan saat ini. Alternatifnya yaitu menggunakan metode kimia analitik untuk menguraikan zat-zat apa saja yang terkandung. Namun alternatif ini sangat sulit diterapkan dibidang ini, karena banyak terdapat senyawa kimia kompleks yang tidak dapat dianalisis dengan metode ini. Selain metode kimia analitik sebenarnya ada instrumen-instrumen yang canggih dengan kinerja yang sangat tinggi, yaitu HPLC, GC dan CE. HPLC (*High Performance Liquid Chromatography*), GC (*Gas Chromatography*) (Togari dkk, 1995) dan CE (*Capillary Electrophoresis*) merupakan instrumen canggih yang membutuhkan biaya sangat mahal. Selain itu, instrumen canggih tersebut membutuhkan perawatan khusus dan orang yang ahli dalam mengoperasikannya. Sehingga, instrumen tersebut tidak terjangkau oleh industri skala menengah atau *home industry*.

Berdasarkan masalah tersebut diperlukan penerapan sains dan teknologi yang diimplementasikan pada instrumen pendeteksi rasa. Tentunya yang memiliki

keobjektivitasan, kepekaan rasa yang tinggi, dan *reputabel* (Tazi dkk, 2016). Instrumen yang dimaksud saat ini telah ada yaitu lidah elektronik yang merupakan sensor kimia, sangat sensitif terhadap perubahan rasa. Lidah elektronik yang dikembangkan pada era ini yaitu menggunakan sensor *Array*. Seperti pada kebanyakan jurnal-jurnal yang mengambil tema penelitian lidah elektronik ini (Ha. D. dkk, 2015).

Kobayashi (2010) mengembangkan lidah elektronik/sensor rasa berbasis membran lipid buatan yang dikembangkan berdasarkan konsep selektivitas global dan berkorelasi tinggi dengan nilai sensorik manusia yang dapat diaplikasikan untuk merasakan berbagai rasa makanan, minuman dan produk farmasi. Sensor ini dapat mengukur rasa dasar seperti asin, asam, pahit, manis dan umami.

Nakamura (2002) dalam penelitiannya, mengklasifikasikan kualitas rasa beberapa jenis obat dengan *array sensor* lidah elektronik berupa membran lipid. *Output* dari penelitian Nakamura dianalisis menggunakan metode analisis multivariant PCA. Output dari sistem ini adalah kualitas dan intensitas rasa, bukan jumlah zat rasa.

Teknologi sensor mengimplementasikan cara kerja dari kelima indera manusia. Contohnya yaitu sensor gas yang digunakan untuk mendeteksi aroma, yang diimplementasikan pada hidung elektronik. *Array sensor* digunakan untuk mendeteksi zat kimia berupa *liquid*, sensor ini biasanya digunakan untuk lidah elektronik dan masih banyak jenis sensor lainnya. Salah satu macam sensor yang lebih sensitif dari *array sensor* yaitu *Quartz Crystal Microbalance* (QCM). QCM adalah perangkat serbaguna yang dapat diaplikasikan pada sensor kefisikaan,

kekimiaan dan kebiologian. Sensor ini dikenal biayanya yang efektif, resolusi yang tinggi, dan sensor massa yang cukup baik (Casteleiro-Roca dkk, 2014).

Sensor QCM bekerja berdasarkan prinsip perubahan frekuensi dari osilasi yang disebabkan oleh respon perubahan massa pada permukaan sensor QCM. QCM mempunyai rentang yang lebar untuk pengaplikasian pada area makanan, lingkungan dan analisis kesehatan (Casteleiro-Roca dkk, 2014).

Sensor *Quartz Crystal Microbalance* (QCM) dapat merespon perubahan massa pada permukaannya pada skala mikro. Kelebihan dari sensor ini yaitu memiliki sensitivitas yang tinggi, tipe kristalnya yang paling stabil, dan juga memiliki faktor kualitas yang tinggi. Sehingga, dipilih sensor ini untuk penelitian dasar yang akan menuju ke sensor lidah elektronik yang lebih bagus dan lebih sensitif untuk mendeteksi rasa.

Pada penelitian ini akan dilakukan analisis karakterisasi dasar pada beberapa sensor *Quartz Crystal Microbalance* (QCM) dengan pelapisan membran *Oleic Acid* pada elektroda perak terhadap respon sampel kimia HCl. Membran *Oleic Acid* merupakan membran yang selektif terhadap rasa asam (Toko, 1998). Sehingga dipilihlah membran ini untuk menguji sampel HCl mewakili rasa asam.

Sensor akan dikarakterisasi berdasarkan responnya, rasa asam digunakan HCl sebagai zat yang mewakilinya. Sensor ini menggunakan elektroda perak untuk mengganti elektroda aslinya yaitu emas. Pemilihan logam perak sebagai pengganti emas yaitu selain mudah dicari, perak juga memiliki harga lebih ekonomis dibandingkan emas. Perak merupakan logam yang mengkilap dimana logam ini mudah dibentuk atau ditempa, dan perak juga merupakan logam konduktor dengan

daya hantar listrik yang baik. Selain itu, sensor QCM juga memungkinkan untuk meneliti sampel dengan berbagai fase dan berbagai variasi pelapisan kristal kuarsanya. Oleh sebab itu, penelitian ini akan menggunakan sensor QCM untuk mengetahui karakteristiknya melalui pengujian senyawa asam klorida (HCl) dengan lapisan membran lipid *Oleic Acid*.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana *response time* sensor QCM dengan bahan aktif membran lipid *Oleic Acid* menggunakan elektroda perak terhadap larutan HCl?
2. Bagaimana deteksi limit sensor QCM dengan bahan aktif membran lipid *Oleic Acid* menggunakan elektroda perak terhadap larutan HCl?
3. Bagaimana sensitivitas dari sensor QCM dengan bahan aktif dari membran lipid *Oleic Acid* menggunakan elektroda perak terhadap larutan HCl?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Mengetahui *response time* sensor QCM dengan bahan aktif membran lipid *Oleic Acid* menggunakan elektroda perak terhadap larutan HCl.
2. Mengetahui deteksi limit sensor QCM dengan bahan aktif membran lipid *Oleic Acid* menggunakan elektroda perak terhadap larutan HCl.
3. Mengetahui sensitivitas dari sensor QCM dengan bahan aktif dari membran lipid *Oleic Acid* menggunakan elektroda perak terhadap larutan HCl.

1.4 Batasan Masalah

1. Rasa asam cukup diwakili oleh HCl.
2. Fasa sampel yang digunakan berupa cairan.
3. Membran yang digunakan hanya membran lipid *Oleic Acid*.
4. Sampel uji dilakukan hanya pada batas 0 mM sampai 1000 mM dikarenakan keterbatasan alat ukur sampel.
5. Perbandingan sensor dilakukan pada sensor QCM dengan elektroda perak murni dan perak dengan lapisan membran lipid *Oleic Acid*.
6. Pelapisan membran lipid menggunakan teknik *spin coating* dengan volume pelapisan yang sesuai dengan literatur dan tidak sampai pada analisis ketebalan membran, namun hanya sampai pengujian dapat terdeteksi atau tidak menggunakan rangkaian osilator openQCM.
7. Penelitian ini tidak membahas analisis karakteristik membran terlalu dalam, hanya sebatas pengaruhnya terhadap *output* sensor.
8. Rangkaian prosesor dan *software* yang digunakan dalam penelitian ini adalah produksi dari pabrik yang sudah terkalibrasi.

1.5 Manfaat Penelitian

1. Manfaat Umum

Mengetahui cara membuat sensor rasa berbasis QCM serta aplikasinya, mengetahui cara membuat sensor QCM yang bisa tepat membedakan rasa asam dan mengetahui karakteristik sensor QCM pada HCl.

2. Manfaat Khusus

Penelitian ini merupakan tahap pertama untuk menunjang dan menginformasi penelitian pada bidang akuisisi data identifikasi rasa khususnya untuk aplikasi QCM untuk sampel liquid.



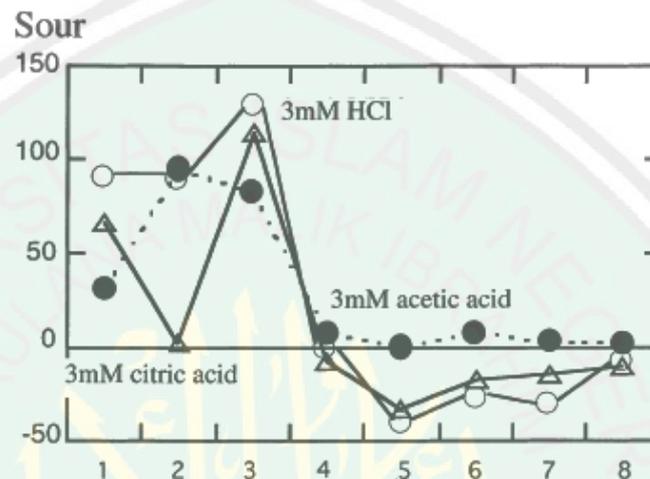
BAB II KAJIAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Lidah manusia menguraikan rasa bahan makanan menjadi 5 jenis kualitas rasa dasar, yaitu asam, pahit, asin, manis dan umami. Toko (1998) menjelaskan dalam jurnalnya bahwa ia menggunakan zat kimia tertentu untuk mewakili lima jenis rasa dasar, yaitu rasa asam dihasilkan ion hidrogen HCl, asam asetat, asam sitrat, dan lain-lain, rasa asin dihasilkan oleh NaCl, kemudian untuk rasa manis diwakilkan oleh sukrosa dan glukosa, rasa pahit dihasilkan dari kafein dan MgCl₂, dan umami, yang merupakan istilah Jepang untuk 'kelezatan', diproduksi oleh *Monosodium Glutamat* (MSG) yang terkandung terutama pada rumput laut, *Disodium Inosinate*.

Kiyoshi Toko menjelaskan bahwa sensor rasa *multichannel* dengan selektivitas global terdiri dari beberapa jenis membran lipid/polimer untuk mengubah informasi tentang zat rasa menjadi sinyal listrik, yang dimasukkan ke komputer. *Output* sensor menunjukkan perbedaan pola untuk zat kimia yang memiliki kualitas rasa berbeda seperti rasa asin dan kepahitan. Pola zat rasa menunjukkan perbedaan kualitas rasa jauh berbeda, dan karenanya setiap rasa bisa dengan mudah didiskriminasikan. Reprodusibilitasnya sangat tinggi, karena standar deviasi lebih kecil dari 1%. Di sisi lain, sensor rasa memiliki pola respon yang serupa dengan kelompok rasa; sebagai contoh zat asam, HCl, asam sitrat dan asam asetat menunjukkan pola respon yang serupa. Zat asin, NaCl, KCl dan KBr menunjukkan juga menunjukkan pola respon yang serupa. Oleh karena itu, dapat

disimpulkan bahwa sensor rasa ini bisa merespon rasa. Fakta ini menyiratkan bahwa sensor rasa memiliki selektivitas global, seperti pada selera resepsi dalam sistem biologis. Sensor ini bisa dianggap dasarnya sebagai sensor cerdas (Toko, 1998).



Gambar 2.1 Hasil Pengujian Senyawa Asam (Toko, 1998)

Pengembangan teknologi sensor terutama sensor lidah elektronik telah banyak digunakan dalam berbagai penelitian. Termasuk dalam penelitian Kobayashi, ia mengembangkan lidah elektronik/sensor rasa berbasis membran lipid buatan yang dikembangkan berdasarkan konsep selektivitas global dan berkorelasi tinggi dengan nilai sensorik manusia yang dapat diaplikasikan untuk merasakan berbagai rasa makanan, minuman dan produk farmasi. Sensor ini dapat mengukur rasa dasar seperti asin, asam, pahit, manis dan umami (Kobayashi dkk, 2010).

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Indera Pengecap

Lidah adalah kumpulan dari otot rangka pada mulut yang ditutup oleh membran selaput lendir (mukosa). Membran mukosa ini tampak kasar karena adanya tonjolan-tonjolan yang disebut *papilla* yaitu ujung saraf pengecap dan terletak pada seluruh permukaan lidah. Saraf-saraf pengecap inilah yang dapat membedakan rasa makanan (Pearce, 2008).

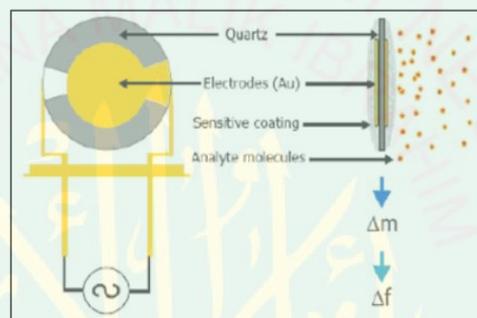
Sel reseptor pengecap merupakan sel epitel termodifikasi dengan banyak lipatan permukaan (mikrofil). Membran plasma mikrofil mengandung reseptor yang berikatan secara selektif dengan molekul zat kimia. Hanya zat kimia dalam larutan atau zat padat yang telah larut dalam air liur yang dapat berikatan dengan sel reseptor (Amerongen, 1991).

Lidah manusia tidak mampu mengenali substansi kimia, namun mengklasifikasikan substansi kimia tersebut ke dalam lima kualitas rasa (manis, asam, asin, pahit dan umami). Seluruh rasa dapat dirasakan oleh seluruh permukaan lidah, tetapi satu jenis rasa akan lebih sensitif pada daerah tertentu. Lidah manusia terbagi menjadi daerah berdasarkan kesensitifannya terhadap kualitas rasa tertentu (Jacob, 2010).

2.2.2 Sensor *Quartz Crystal Microbalance* (QCM)

Quartz Crystal Microbalance (QCM) adalah perangkat serbaguna yang dapat diaplikasikan pada sensor kefisikaan, kimia dan kebiologi. Sensor ini dikenal biayanya yang efektif, resolusi yang tinggi, dan sensor massa yang cukup baik. Seperti pada sensor garis, prinsip kerja pada QCM yaitu berdasarkan

perubahan getaran frekuensi proporsional yang disebabkan perubahan massa pada permukaan lapisan tersebut. Salah satu kelebihan menggunakan alat ini yaitu dapat dengan mudah beradaptasi untuk menganalisis perubahan *range* yang lebar atau besar yang disebabkan oleh perbedaan pelapisan, sehingga membuat sensor ini sangat berguna. Akan tetapi, selain memiliki kelebihan sensor ini juga memiliki kelemahan yaitu kebutuhan karakterisasi yang tepat dari sensor dalam kaitannya dengan aplikasi tertentu (Casteleiro-Roca dkk, 2014).



Gambar 2.2 *Quartz Crystal Microbalance (QCM)* (Tazi dkk, 2016).

QCM adalah sebuah osilator elektromekanik yang terdiri atas lapisan tipis kristal kuarsa tipe AT-cut dengan elektroda logam yang tertanam di kedua sisinya. Bahan kimia sensitif yang tertanam pada elektroda QCM, berinteraksi dengan analisis, induksi penurunan frekuensi di dalam osilasi proporsional menuju penyerapan massa. Hal tersebut dijelaskan pada persamaan *Sauerbrey* sebagai berikut (Bearzotti dkk, 2017) :

$$\Delta f = \frac{C_f f_0^2 \Delta m}{A} \quad (2.1)$$

Keterangan:

Δf = Perubahan Frekuensi (Hz)

C_f = Konstanta Sensitivitas Massa

f_0 = Frekuensi Resonansi Awal Elektroda (Hz)

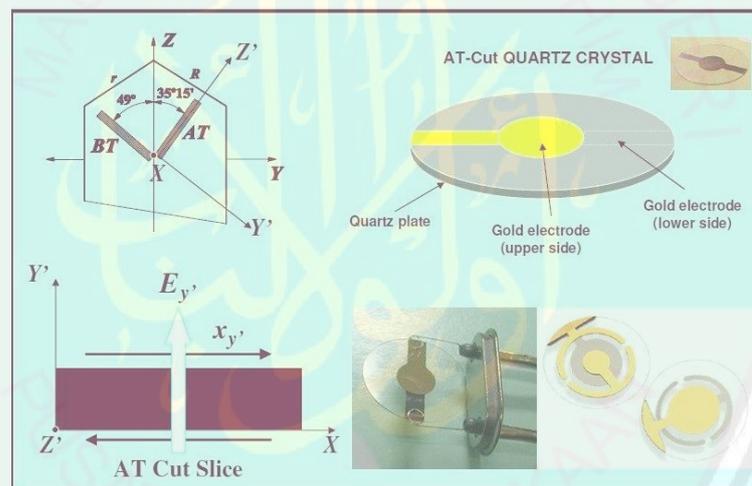
A = Luas Permukaan Elektroda (m^2)

QCM secara tipikal merupakan kristal kuarsa yang bertipe AT-cut yang memiliki rentang frekuensi dari 1 MHz hingga kelipatan 10 dari MHz. Kristal tunggal yang biasanya ber-resonansi sekitar 20 MHz adalah kristal piringan yang berdiameter 8 mm (Zampetti dkk, 2008).

Sensor *Quartz Crystal Microbalance* (QCM) merupakan sensor yang sangat sensitif dan banyak digunakan untuk sensor gas. Sensor QCM terbuat dari lapisan kristal kuarsa tipis kosong dengan elektroda logam pada kedua sisinya. Permukaan lapisan kristal kuarsa sensor akan mengalami deformasi dan relaksasi ketika kedua elektroda dialiri arus listrik hingga terjadi eksitasi listrik. Peristiwa deformasi dan relaksasi permukaan tersebut tergantung pada dimensi kristal, parameter fisik kristal dan jenis potongan kristal. Penggunaan sensor QCM sebagai sensor gas dilakukan dengan memberikan lapisan pendeteksi sampel yang bersifat sensitif. Lapisan tersebut menyebabkan peningkatan massa sensor QCM dan mengakibatkan perubahan frekuensi resonansinya. Berdasarkan persamaan *Sauerbrey* yang telah dipaparkan sebelumnya menjelaskan bahwa nilai frekuensi resonansi sensor QCM akan menurun secara linear akibat adanya penyerapan massa. Sampel gas yang dideteksi memiliki massa molekul yang berbeda-beda sesuai dengan jenisnya. Penyerapan molekul target tersebut yang menyebabkan terjadinya penyimpangan frekuensi resonansi. Penyimpangan frekuensi resonansi

sensor QCM tersebut yang menunjukkan tingkat selektivitas dan kepekaan sensor (Sharma dkk, 2015).

Prinsip kerja dari sensor QCM yaitu berdasarkan pada efek invers-piezoelektrik yang dapat menimbulkan deformasi pada material tertentu sehingga dapat menyebabkan timbulnya medan listrik. Sensor QCM menggunakan kristal kuarsa tipe *AT-cut* dikarenakan tipe tersebut merupakan tipe kristal yang dinilai paling stabil, memiliki mode osilasi *shear-thickness*, dan memiliki kualitas presisi yang tinggi. Adapun struktur rangkaian sensor QCM ditunjukkan pada gambar berikut (Casteleiro-Roca dkk, 2014):



Gambar 2.3 Bentuk Potongan AT Kristal Kuarsa (Casteleiro-Roca dkk, 2014).

Kuarsa kristal telah lama diaplikasikan dalam bidang sensor salah satunya adalah sensor *microgravimetry* untuk lidah elektronik. Sensor ini digunakan sebagai detektor massa pada skala mikrogram (μg). Banyak instrumen yang memanfaatkan aplikasi sensor *microgravimetry* salah satunya untuk menentukan ketebalan lapisan tipis pada proses evaporasi (*thin films evaporation*). Sensor *microgravimetry* merupakan sensor yang berbasis pada frekuensi dengan

sensitivitas $\mu\text{g}/\text{Hz}$ (Ayad dkk, 2009; Babar dkk, 2016). Sensitivitas dari sensor ini dapat menunjukkan adanya penambahan massa sebesar μg yang sebanding dengan perubahan frekuensi resonan sensor pada proses evaporasi. Prinsip kerja sensor *microgravimetry* adalah membaca perubahan frekuensi resonan kuarsa kristal akibat penambahan massa pada permukaannya sebagai jumlah total massa persatuan luas. QCM memiliki kuarsa berbentuk *disk* yang disebut AT-cut yang diapit oleh sepasang elektroda, masing-masing pada sisi yang berlawanan. Pada bagian atas salah satu sisi dilapisi lapisan aktif yang biasanya terbuat dari polimer. Kristal kuarsa piezoelektrik yang dipaksa oleh *oscillator circuit* untuk bergetar pada frekuensi karakteristik, disebut frekuensi resonansi. Nilai frekuensi resonansi ini bergantung pada karakteristik kristal dan pada lapisan polimer (Bearzotti dkk, 2017; Buzhynskyy dkk, 2009; Dunér dkk, 2013).

2.2.3 Rasa Asam

Rasa asam disebabkan oleh suatu golongan asam. Konsentrasi ion hidrogen maupun intensitas sensasi rasanya kira-kira sebanding dengan logaritma konsentrasi ion hidrogen. Oleh sebab itu, makin asam suatu makanan maka sensasi rasa asamnya semakin kuat (Guyton, 2009).

Rasa asam dihasilkan dari ion-ion hidrogen yang terdapat dalam beberapa senyawa asam diantaranya HCl, asam asetat (CH_3COOH) dan asam sitrat ($\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$). Salah satu senyawa yang telah diujikan pada sensor lidah yang dinilai sebagai senyawa sederhana yang mewakili rasa asam yaitu asam klorida (HCl) (Toko, 1998).

Tabel 2.1 Indeks Rasa Relatif dari Berbagai Bahan (Toko, 1998)

Indeks Rasa Relatif dari Berbagai Bahan			
Bahan Asam	Indeks	Bahan Pahit	Indeks
Hydrochloric Acid	1	Quinine	1
Formic Acid	1.1	Brucine	11
Chloroacetic Acid	0.9	Strychnine	3.1
Acetylacetic Acid	0.85	Nicotine	1.3
Lactic Acid	0.85	Phenylthiourea	0.9
Tartaric Acid	0.7	Caffeine	0.4
Malic Acid	0.6	Veratrine	0.2
Potassium H tartrate	0.58	Pilocarpine	0.16
Acetic Acid	0.55	Atropine	0.13
Citric Acid	0.46	Cocaine	0.02
Carbonic Acid	0.06	Morphine	0.02

Salah satu senyawa yang bersifat asam yaitu HCl. Senyawa HCl biasa disebut asam klorida. Adapun sifat-sifat fisika dari senyawa HCl diantaranya yaitu memiliki berat molekul 36,5 gr/mol, memiliki densitas 1,19 gr/ml, konsentrasi di pasaran sekitar 37%, memiliki titik didih 50,5°C, memiliki titik didih -25°C, tekanan uap sebesar 16 kPa, cairan berwarna bening dan berbau tajam. Senyawa HCl juga diproduksi di dalam tubuh manusia. HCl diproduksi secara alami oleh lambung yang berfungsi sebagai penghancur makanan yang akan diteruskan ke usus. HCl biasanya digunakan pada proses pembentukan gelatin dan bahan aditif pada makanan. HCl juga biasanya digunakan sebagai kontrol limbah zat cair pada industri sebelum dibuang ke lingkungan (ScienceLab, 2009).

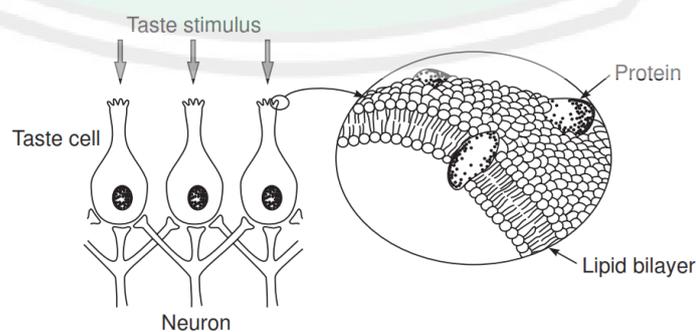
2.2.4 Membran Lipid

Membran ialah suatu zat penghalang yang bersifat selektif terhadap dua fase zat lain yang berbeda. Membran berfungsi untuk memisahkan partikel atau molekul berdasarkan ukuran dan bentuknya, menahan suatu komponen dari zat yang

ukurannya lebih besar dari pori-pori membran serta untuk menyalurkan senyawa yang mempunyai ukuran pori-pori yang lebih kecil dari pori-pori membran tersebut (Agustina dkk, 2006).

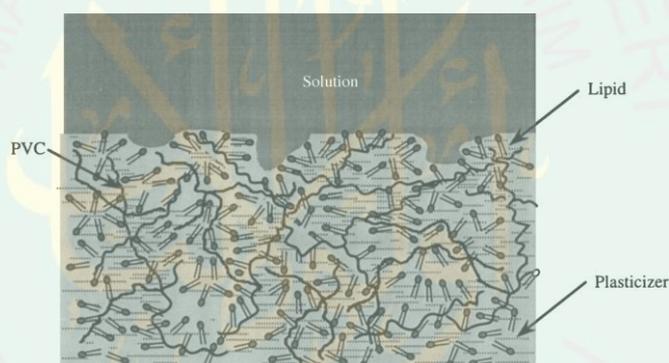
Molekul lipid merupakan lapisan yang tersusun sedemikian rupa sehingga terdapat lapisan bagian luar yang bersifat polar yang berikatan dengan molekul protein, sedangkan bagian non polar terletak pada sisi dalam bersama dengan cairan yang terdapat pada lapisan tersebut. Adanya lapisan protein pada lapisan luar menyebabkan membran sel lipid bersifat hidrofilik atau dapat menyatu dengan molekul air (Pudjaji, 1990).

Semua asam lemak bersifat takut air (hidrofobik), sedangkan gliserol dengan atom oksigennya lebih bersifat suka air (hidrofilik), karena oksigen dapat membentuk ikatan hidrogen dengan molekul air. Semua membran bagian lipid bersifat hidrofilik akan terikat pada molekul-molekul air dan berada pada permukaan sisi membran, sedangkan bagian asam lemak akan terdorong ke bagian internal dari membran. Keadaan inilah yang menyebabkan membran tersusun dari dua lapisan lipid (Lakitan, 1993). Lapisan lipid yang ada dua *layer* ini terdapat pada ujung *papilla* seperti pada gambar berikut:



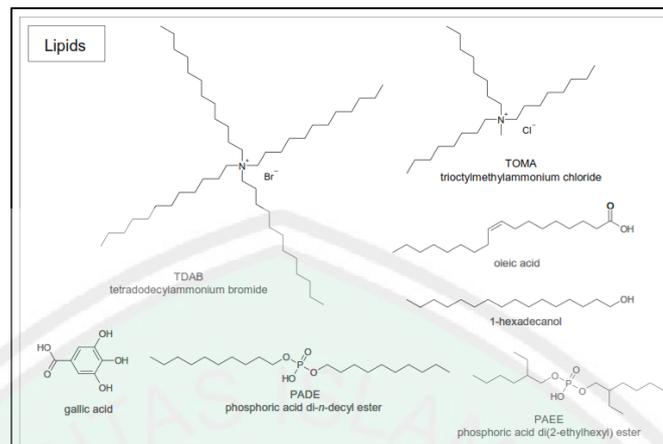
Gambar 2.4 Reseptor Rasa pada Lidah (Toko, 1998).

Gugus karboksil terdapat pada suatu kedudukan tertentu dalam struktur polimer atau membran polimer cair dengan matriks PVC (*Polivinil Chloride*), menyebabkan membran mengandung muatan negatif. Senyawa Asam Oleat (*Oleic Acid*) mempunyai sifat polar pada ujung lainnya (karboksil) dan nonpolar pada salah satu ujungnya (alkena). Hal ini akan menyebabkan keadaan yang berbeda saat larutan sampel diaplikasikan pada membran. Ujung yang nonpolar akan berorientasi ke arah pusat membran, sedangkan yang polar akan menuju ke sistem larutan *aqueous* (Toko, 1998). Susunan dari membran yang telah diberi larutan sampel seperti pada gambar berikut:

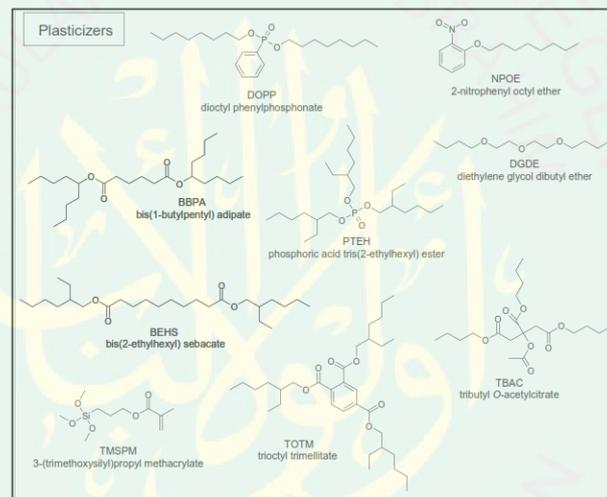


Gambar 2.5 Struktur Permukaan dari Lipid atau Membran Polimer (Toko, 1998).

Komponen yang menyusun membran yaitu lipid atau polimer yang berfungsi sebagai zat aditif polifilik yang berfungsi untuk menyaring ion-ion yang melewati membran (penentu selektivitas), kemudian *plasticizer* sebagai pelarut membran agar lebih lentur. Polivinil Klorida atau PVC sebagai pensusport membran agar lebih kuat. Sedangkan THF berfungsi untuk melarutkan komponen-komponen penyusun membran yang lain serta membantu mempercepat proses pengeringan membran (Kadidae, 2000).



Gambar 2.6 Macam-Macam Struktur Kimia Lipid (Kobayashi dkk, 2010)



Gambar 2.7 Macam-Macam Struktur Kimia *Plasticizer* (Kobayashi dkk, 2010)

2.2.5 *Oleic Acid*

Asam lemak adalah adalah senyawa alifatik dengan gugus karboksil. Bersama-sama dengan gliserol, merupakan penyusun utama minyak nabati atau lemak dan merupakan bahan baku untuk semua lemak pada makhluk hidup. Asam ini mudah dijumpai dalam minyak masak (goreng), margarin, atau lemak hewan dan menentukan nilai gizinya. Secara alami, asam lemak bisa berbentuk bebas (karena lemak yang terhidrolisis) maupun terikat sebagai gliserida (Anonim, 2010).

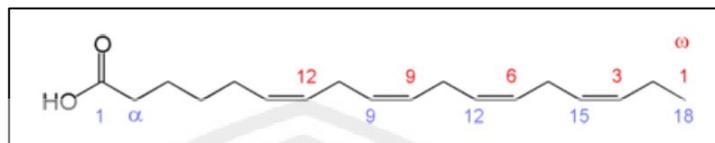
Asam lemak dibedakan menjadi asam lemak jenuh dan asam lemak tak jenuh. Asam lemak jenuh hanya memiliki ikatan tunggal di antara atom-atom karbon penyusunnya, sementara asam lemak tak jenuh memiliki paling sedikit satu ikatan ganda diantara atom-atom karbon penyusunnya. Asam lemak tak jenuh dianggap bernilai gizi lebih baik karena lebih reaktif dan merupakan antioksidan di dalam tubuh (Anonim, 2010).

Salah satu jenis asam lemak tak jenuh adalah asam oleat, merupakan asam lemak tak jenuh yang paling banyak ditemukan di hampir seluruh bahan makanan baik hewani maupun nabati. Asam oleat dinamakan demikian karena berasal dari *olein*, atau *olive oil* karena asam oleat merupakan komponen utama penyusun minyak zaitun. Asam oleat dapat dikategorikan sebagai asam lemak esensial, yang berarti kehadirannya dibutuhkan oleh tubuh namun asam oleat tidak dapat diproduksi di dalam tubuh dan hanya bisa didapat melalui sumber eksternal tubuh (Anonim, 2010).

Asam oleat, *cis- Δ 9-octadecenoic acid*, adalah senyawa kimia yang merupakan komponen penyusun lemak pada umumnya, pertama ditemukan oleh Chevreul dalam *Recherches sur les corpsgras* tahun 1815. Kata oleat berasal dari kata "*olein*" yang berarti berasal dari *olive* karena minyak zaitun merupakan sumber utama dari asam oleat (Anonim, 2010).

Klasifikasi asam oleat dilakukan berdasarkan sumbernya dan jumlah ikatan rangkap yang dimilikinya. Kandungan asam oleat terdapat dalam bahan makanan secara alami. Oleh karena itu, asam oleat dapat dikategorikan sebagai *natural fatty acid*, atau asam lemak yang bersumber dari alam. Asam oleat

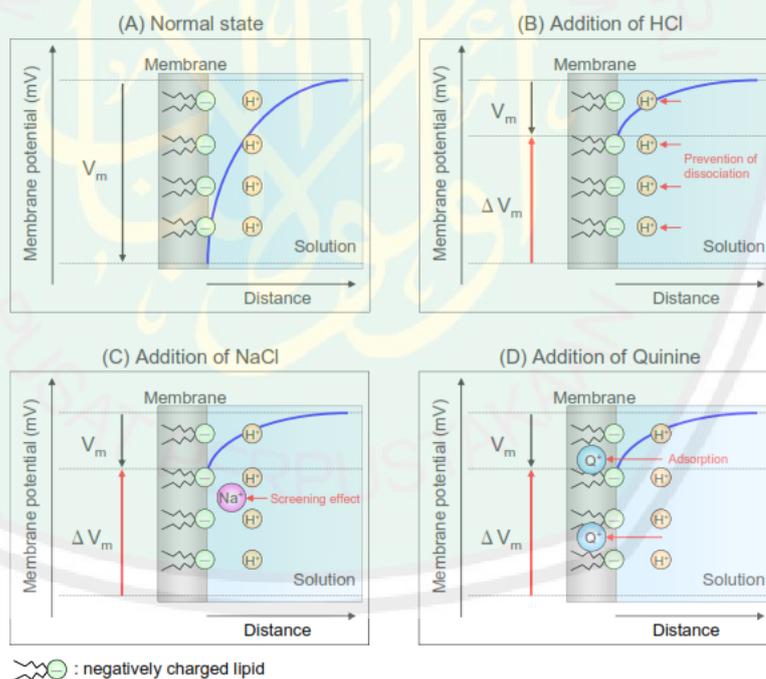
memiliki satu buah ikatan rangkap sehingga asam oleat dapat dikategorikan sebagai *mono-unsaturated fatty acid* (Anonim, 2010).



Gambar 2.8 Struktur Kimia *Oleic Acid* (Anonim, 2010)

2.2.6 Interaksi Membran dengan Larutan Sampel

Pengujian sampel rasa pada sensor yang telah dilapisi membran telah dilakukan dengan hasil yang dinilai cukup baik. Hasil pengujian lapisan membran ditunjukkan pada gambar berikut (Kobayashi dkk, 2010):



Gambar 2.9 Interaksi Membran dengan sampel (Kobayashi dkk, 2010).

Gambar 2.9 menunjukkan diagram mekanisme respon membran bermuatan negatif ke zat rasa asam, garam dan pahit. Dimana V_m merupakan potensial

membran, ΔV_m adalah perubahan potensial membran (*output sensor*), H^+ yaitu zat proton yang dipisahkan dari molekul lipid, Na^+ adalah ion Natrium, Q^+ merupakan ion kina. Kurva hitam mewakili perubahan dalam lapisan ganda listrik terhadap jarak (Kobayashi dkk, 2010).

Ketika membran direndam dalam larutan air, lapisan ganda listrik dibentuk oleh disosiasi kelompok asam dalam molekul lipid. Hal ini menyebabkan perubahan dalam potensial membran, dan permukaan membran menjadi bermuatan negatif. Respon terhadap bahan asam menunjukkan bahwa respon membran bermuatan negatif terhadap HCl sesuai dengan hasil teoritis. Hal tersebut dikarenakan zat asam mencegah molekul lemak terpecah dalam proses kimia yang menghasilkan satu atau lebih molekul lain (disosiasi) dan mengubah potensial membran (Kobayashi dkk, 2010).

2.2.7 Osilator

Osilator adalah rangkaian elektronika yang berfungsi sebagai pembangkit sinyal elektronika dengan mengubah tegangan DC menjadi gelombang sinyal. Gelombang sinyal yang dihasilkan oleh osilator akan mengalami perubahan setiap satuan waktu. Perubahan siklus itu disebut frekuensi osilator. Terdapat beberapa jenis osilator pada rangkaian elektronika diantaranya osilator kristal kuarsa, osilator *feedback*, osilator relaksasi dan osilator *Wien-Bridge*. Osilator-osilator tersebut digunakan untuk kebutuhan rangkaian yang berbeda (Fuada, 2013).

Osilator dapat disusun dari suatu bahan kristal. Material kristalin mempunyai sifat yang unik. Sifat unik tersebut yaitu kemampuan untuk menghasilkan tegangan listrik ketika diberikan tekanan mekanik. Sifat itu biasa disebut sebagai efek

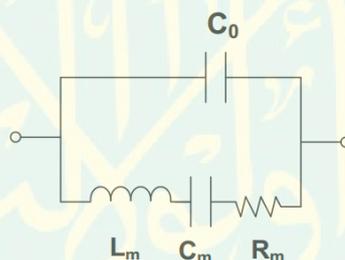
piezoelektrik. Adapun jenis kristal di alam yang dapat menunjukkan efek piezoelektrik jumlahnya banyak. Kristal yang digetarkan dapat membangkitkan tegangan AC. Begitupun sebaliknya, ketika kristal diberikan aliran tegangan listrik maka kristal akan bergetar dengan frekuensi yang sebanding dengan besar frekuensi tegangan *input*. Kristal-kristal yang dapat mengalami peristiwa tersebut diantaranya kristal kuarsa, garam Rochelle dan kristal turmalin. Efek piezoelektrik terbesar terjadi pada garam Rochelle diikuti dengan kristal kuarsa dan yang paling rendah efek piezoelektriknya yaitu kristal turmalin (Malvino, 1982).

Jenis kristal yang sering digunakan sebagai osilator yaitu kristal kuarsa. Hal tersebut karena kristal kuarsa memiliki beberapa kelebihan. Adapun kelebihan dari kristal kuarsa diantaranya yaitu biaya kristal kuarsa terjangkau, memiliki efek piezoelektrik yang stabil dan tersedia di alam bebas. Bentuk alami dari kristal kuarsa yaitu prisma heksagonal dengan limas pada kedua ujungnya. Pemanfaatan kristal tersebut yaitu dengan memotong kristal alam menjadi potongan yang sesuai. Jumlah potongan yang diperoleh bergantung pada ukuran potongan dan sudut yang diinginkan. Beberapa jenis potongan yang biasa digunakan untuk mengolah kristal kuarsa alam yaitu potongan AT, potongan BT, potongan X, potongan Y dan potongan XY. Jenis potongan yang digunakan pada sensor QCM yaitu potongan AT seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya (Malvino, 1982).

Osilator kristal kuarsa mempunyai frekuensi getar alami yang akurat karena dimensi dan potongan keping kristal dapat dikontrol secara presisi ketika proses produksi. Akurasi frekuensi getar kristal kuarsa pada umumnya berkisar 300 ppm. Tingkat akurasi dapat disesuaikan dengan kebutuhan. Semakin tinggi akurasi

frekuensi getar kristal kuarsa, maka semakin besar pula biaya yang harus dikeluarkan (Malvino, 1982).

Sensor QCM memanfaatkan perubahan frekuensi untuk analisis data. Rangkaian yang digunakan membangkitkan frekuensi yaitu rangkaian *Butterworth-Van Dyke* (BVD). Rangkaian listrik BVD terdiri dari cabang kapasitor statis yang terhubung pada QCM. Model resonator kristal kuarsa *Butterworth van Dyke* (BVD) ditunjukkan oleh gambar 2.10 dibawah ini. Model yang seperti ini bermanfaat dalam memprediksi pergeseran frekuensi serta kerugian kristal kuarsa AT-cut pada aplikasi QCM. selain itu, model resonator kristal kuarsa BVD ini sering dipakai pada resonansi dengan rangkaian seri (Henderson, 1991).



Gambar 2.10 Resonator Kristal Butterworth Van Dyke (BVD) (Henderson, 1991).

Model BVD ini terdiri dari dua lengan. Dimana untuk gerakan lengan memiliki tiga komponen secara seri dan dimodifikasi oleh massa dan pemuatan kental dari kristal (Henderson, 1991):

1. R_m (Resistor) sesuai dengan energi osilasi dari struktur pemasangan dan dari medium yang bersentuhan dengan kristal.
2. C_m (Kapasitor) sesuai dengan energi dalam osilasi yang disimpan dan dari elastisitas kuarsa dan mediumnya.

3. L_m (Induktor) sesuai dengan komponen inersia osilasi yang ada hubungannya dengan massa yang terdeposisi selama getaran.

Nilai induktansi (L_m) ini akan meningkat saat ditambahkan massa ke elektroda kristal. Pergeseran frekuensi resonansi merupakan indikator sensitif dari massa yang ditambahkan pada elektroda (Henderson, 1991).

Rangkaian BVD memiliki dua cabang yang tersusun secara parallel. Rangkaian BVD digunakan dalam osilator QCM karena memiliki pendekatan yang lebih baik serta dapat mengaproksimasi penggunaan QCM pada kasus yang spesifik. Cabang pertama terdiri dari sebuah kapasitor statis (C_0) yang nilainya tergantung pada jenis QCM yang digunakan. Cabang kedua terdiri dari rangkaian RLC yang terhubung secara seri. Nilai C_0 , C_1 , L_1 dan R_1 ditunjukkan pada persamaan 2.2, 2.3, 2.4 dan 2.5 sebagai berikut (Casteleiro-Roca dkk., 2014).

$$C_0 = \frac{\varepsilon_{22} A}{h} \quad (2.2)$$

$$C_1 = \frac{8K_0^2 C_0}{(N\pi)^2} \quad (2.3)$$

$$L_1 = \frac{1}{\omega_s^2 C_1} \quad (2.4)$$

$$R_1 = \frac{\eta_q}{c_{66} C_1} \left(\frac{\omega}{\omega_s} \right)^2 \quad (2.5)$$

Keterangan :

- C_0 = Kapasitansi Statis (F)
- ε = Permittivitas Bahan QCM
- A = Luas Permukaan Elektroda (m)
- H = Ketebalan Kristal (m)
- K_0 = Konstanta Elektromekanik

ω_s	= Frekuensi Resonansi Angular
η	= Viskositas QCM (Pa.s)
c_{66}	= Konstanta Elastisitas QCM

2.2.8 Frequency Counter

Frequency counter adalah suatu komponen elektronika yang digunakan untuk menentukan jumlah frekuensi sinyal dari rangkaian elektronika. Adapun komponen yang ada dalam *frequency counter* terdiri dari dua komponen yaitu *timer* dan *counter* yang menjadi masukan (input) pada mikrokontroler. *Frequency counter* memiliki beberapa fungsi diantaranya untuk mengendalikan tegangan secara PWM, untuk menentukan besar lebar sinyal dan untuk kontrol pada remote yang berbasis infrared. Sebuah *frequency counter* biasa dijalankan dengan suatu pencacah yang menjumlahkan banyaknya suatu peristiwa dalam satu periode waktu. Prinsip kerja dari *frequency counter* yaitu nilai *counter* ditransfer pada display setelah periode frekuensi ditentukan, kemudian *counter* direset ke nol. Nilai frekuensi *clock* osilator yang digunakan harus lebih besar dari jumlah frekuensi suatu kejadian yang diukur supaya hasil dari pengukuran frekuensi yang didapatkan bernilai stabil. Ketelitian pengukuran frekuensi berbanding lurus dengan banyaknya jumlah siklus yang diukur (Afniza, 2008).

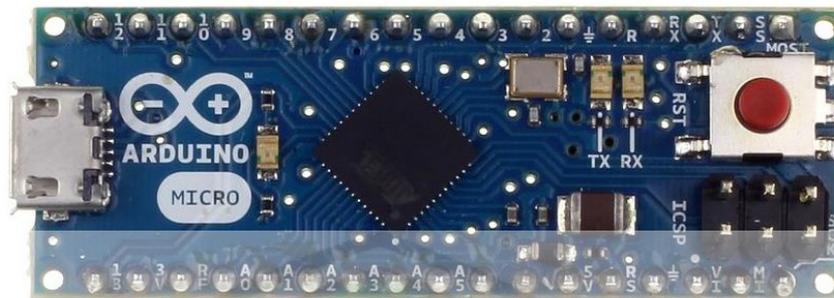
Frequency counter memiliki beberapa batasan sebelum *overflow*. Rangkaian *prescaler* (Skala Pembanding) pada *frequency counter* digunakan untuk mengubah *output* dari *frequency counter* menjadi sinyal yang dapat dihitung oleh sirkuit digital normal pada keadaan frekuensi yang sangat tinggi. *Display* yang terdapat pada *frequency counter* tetap menampilkan nilai frekuensi *input* awal. Apabila frekuensi

yang diukur bernilai lebih tinggi dari pada skala yang tersedia pada rangkaian *prescaler*, maka frekuensi sinyal yang sesuai untuk pengukuran akan diproduksi oleh suatu *mixer* sinyal dan pembangkit gelombang lokal (Afniza, 2008).

Ketelitian *frequency counter* bergantung pada stabilitas *time base* yang dimiliki. Stabilitas *timebase* membutuhkan suatu sirkuit dengan ketelitian yang tinggi. Sirkuit tersebut menggunakan sebuah osilator kristal (pembangkit gelombang kristal) yang salah satunya dapat terbuat dari bahan kristal kuarsa (*quartz crystal*). Kristal kuarsa tersebut ditempatkan pada sebuah ruang terisolasi dengan suhu yang terkontrol. Ruang tersebut biasanya disebut OCXO (*Oven Controlled Crystal Oscilator*). Suatu frekuensi dari luar disatukan dengan osilator stabil untuk mendapatkan hasil pengukuran yang lebih akurat seperti pada sebuah rangkaian GPS yang tersusun dari penggetar rubidium. Apabila objek ukur tidak membutuhkan *frequency counter* dengan ketelitian tinggi, maka dapat menggunakan osilator yang sederhana (Afniza, 2008).

2.2.9 Arduino Micro

Arduino Micro adalah papan mikrokontroler yang terdapat pada OpenQCM yang beroperasi pada frekuensi maksimum 16 MHz. Beberapa fitur terpenting dari *Arduino micro* untuk OpenQCM adalah: memiliki tegangan operasi sebesar 5 VDC melalui koneksi USB mikro, arus DC untuk 3,3V pin 50 mA, dan saluran *input* analog. Melalui fitur ini, OpenQCM dapat digunakan melalui koneksi USB, mengukur frekuensi kristal kuarsa, menyuplai daya ke osilator kristal kuarsa dan membaca sensor suhu analog (Novaetech, 2016).

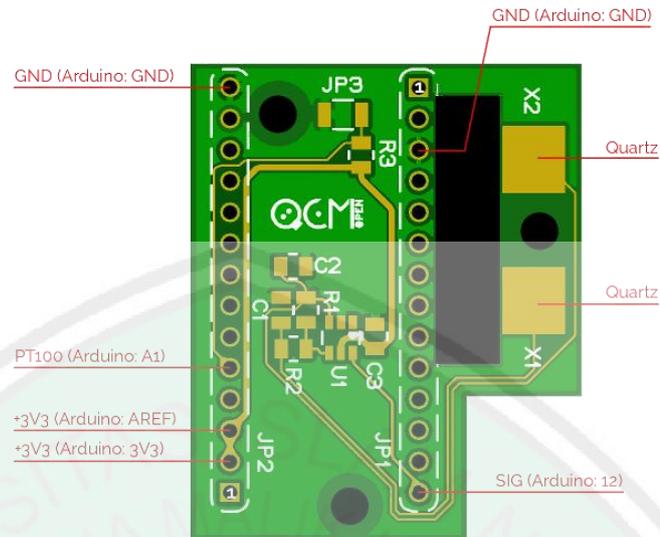


Gambar 2.11 *Arduino Micro* (Novaetech, 2016).

Selain berfungsi sebagai mikrokontroler, *Arduino Micro* juga berfungsi sebagai *frequency counter* yang memiliki *library frequency counter* eksternal. *Frequency counter* ini mampu mengukur frekuensi sinyal digital dengan cara menghitung jumlah pulsa selama interval waktu yang tetap. Melalui *frequency counter* inilah getaran kristal kuarsa dapat diukur (Novaetech, 2016).

2.2.10 QCM *Arduino Shield*

QCM *Arduino shield* atau pelindung yang dirancang khusus sesuai dengan *Arduino micro* ini merupakan modul elektronik utama OpenQCM. QCM *Arduino shield* berfungsi sebagai osilator yang didesain sedemikian rupa agar mudah menghubungkan *board Arduino micro* dengan *shield*. Hasil getaran pada resonator QCM dibangkitkan oleh QCM *Arduino Shield* dan diukur frekuensi resonansinya oleh *Arduino Micro*. Selain sebagai pelindung yang dirancang untuk *Arduino micro*, *Arduino shield* memiliki sensor tertanam yang berfungsi untuk mengukur suhu perangkat (Novaetech, 2016).



Gambar 2.12 QCM Arduino Shield (Novaetech, 2016).

2.3 Sensor dalam Tinjauan Al-Qur'an

Perkembangan teknologi saat ini mengalami peningkatan yang pesat. Terciptanya teknologi salah satunya yaitu sensor. Sensor merupakan teknologi yang tidak lepas dari peran ilmuwan yang selalu melakukan inovasi baru dalam penelitian. Hal tersebut ditunjukkan dengan firman Allah dalam al-Qur'an Surah Ali Imran ayat 190-191:

إِنَّ فِي خَلْقِ السَّمَوَاتِ وَالْأَرْضِ وَاخْتِلَافِ اللَّيْلِ وَالنَّهَارِ لآيَاتٍ لِّأُولِي الْأَلْبَابِ ﴿١٩٠﴾ الَّذِينَ يَذْكُرُونَ اللَّهَ قِيَمًا وَقُعُودًا وَعَلَىٰ جُنُوبِهِمْ وَيَتَفَكَّرُونَ فِي خَلْقِ السَّمَوَاتِ وَالْأَرْضِ رَبَّنَا مَا خَلَقْتَ هَذَا بَطْلًا سُبْحَانَكَ فَقِنَا عَذَابَ النَّارِ ﴿١٩١﴾

“*Sesungguhnya dalam penciptaan langit dan bumi, pergantian siang dan malam terdapat tanda-tanda (kebesaran Allah) bagi orang yang berakal. (yaitu) orang-orang yang mengingat Allah sambil berdiri, duduk atau dalam keadaan berbaring dan mereka memikirkan tentang penciptaan langit dan bumi (seraya berkata) Ya Tuhan kami, tidaklah Engkau menciptakan semua ini sia-sia, Maha Suci Engkau, lindungilah kami dari azab neraka*” (QS. Ali Imran [3] : 190-191).

Ayat tersebut menjelaskan bahwa Allah memberikan anugerah berupa kefahaman tentang kebesaran-Nya dalam penciptaan langit dan bumi serta pergantian siang dan malam kepada orang-orang yang berakal (Ulil Albab). Ulil Albab dalam ayat tersebut dapat diartikan sebagai orang-orang berakal yang senantiasa bertafakur akan ciptaan-ciptaan Allah dan fenomena-fenomena alam semesta.

Sensor yang telah berkembang saat ini berjumlah banyak yang sangat bermanfaat bagi kegiatan manusia. Prinsip kerja sensor hampir mirip dengan indera pada manusia. Salah satunya sensor pengecap atau sensor lidah elektronik yang prinsipnya hampir sama dengan lidah manusia. Allah SWT telah menganugerahi manusia dengan panca indera yang harus dijaga dan digunakan sesuai dengan fungsinya. Hal tersebut ditunjukkan oleh firman Allah SWT dalam al-Qur'an Surah al-Balad ayat 8-9 yaitu:

أَلَمْ نَجْعَلْ لَهُ عَيْنَيْنِ ﴿٨﴾ ۖ وَلِسَانًا وَشَفَتَيْنِ ﴿٩﴾

“Bukankah kami telah memberikan kepadanya dua buah mata, lidah dan dua buah bibir?” (QS. al-Balad [90]:8-9).

Indera mata dan lidah yang ada pada manusia merupakan salah satu nikmat yang bermanfaat. Panca indera yang telah dianugerahkan oleh Allah SWT harus dijaga dan digunakan sesuai dengan fungsinya. Pembuatan sensor lidah ada bukan karena untuk menciptakan indera untuk mengungguli ciptaan tuhan tetapi ada kalanya tidak semua zat dapat langsung dicicipi oleh lidah. Zat yang berbahaya tidak dapat diidentifikasi menggunakan panca indera secara langsung (Rohman, 1996).

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian tentang “Karakterisasi Sensor QCM dengan Pelapisan Membran Lipid *Oleic Acid* pada Respon Elektroda Perak terhadap HCl” ini dilaksanakan mulai 2 Juli 2018 hingga selesai di Laboratorium Riset Atom Jurusan Fisika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang dan Laboratorium Fisika Material Maju dan Plasma Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Brawijaya Malang.

3.2 Alat dan Bahan Penelitian

3.2.1 Alat-Alat Penelitian

Tabel 3.1 Alat-Alat Penelitian

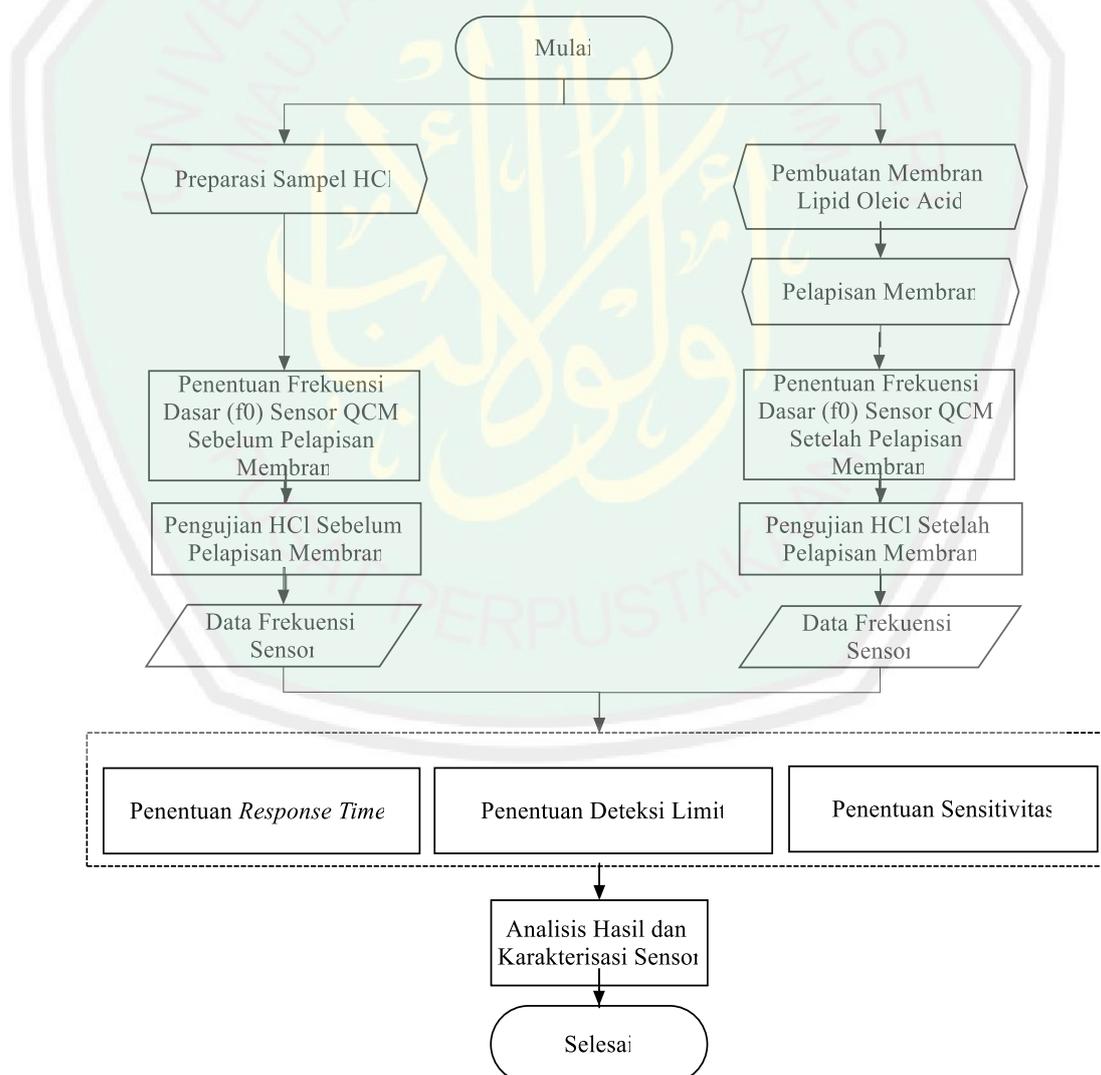
No	Nama Alat	Jumlah	Spesifikasi
1.	Holder QCM	1	Panjang 10 cm
2.	Gelas Beaker	5	Ukuran 100 ml
3.	Frekuensi Counter	1	Digital
4.	Micro Pipet Tetes	1	Ukuran 100-1000 μL
5.	Botol Semprot	2	Ukuran 500 ml
6.	Personal Computer	1 set	PC Windows 7
7.	OpenQCM	1	Serangkaian
8.	Pot Sampel Plastik	20	Ukuran 100 ml
9.	Pot Sensor Plastik	2	Ukuran 20 ml
10.	<i>Software</i> QCM	1	Available for Windows
11.	Microsoft Excel	1	Versi 2016
12.	Gelas Ukur	1	100 ml
13.	Kertas Label	Secukupnya	
14.	Kabel jumper	2	Penjepit Buaya
15.	Blue Tip	30	100-1000 μL
16.	Kabel USB	1	Micro USB
17.	Vacuum Spin Coater	1	VTC-100
18.	Pinset	1	Ukuran 10 cm
19.	Masker dan Sarung Tangan	Secukupnya	
20.	Kristal Kuarsa	1	Diameter 12,5 mm

3.2.2 Bahan-Bahan Penelitian

Tabel 3.2 Bahan-Bahan Penelitian

No	Nama Alat	Spesifikasi
1.	HCl Cair 32%	Konsentrasi 100-2000 mM
2.	Lipid <i>Oleic Acid</i>	Fase Cair
3.	<i>Tetrahydrofuran</i> (THF)	Fase Cair
4.	<i>Polyvinyl Chloride</i> (PVC)	Fase Cair
5.	<i>Plasticizer</i> :2-NPOE	Fase Cair
6.	Aquades	Kemurnian 99%

3.3 Diagram Alir Penelitian

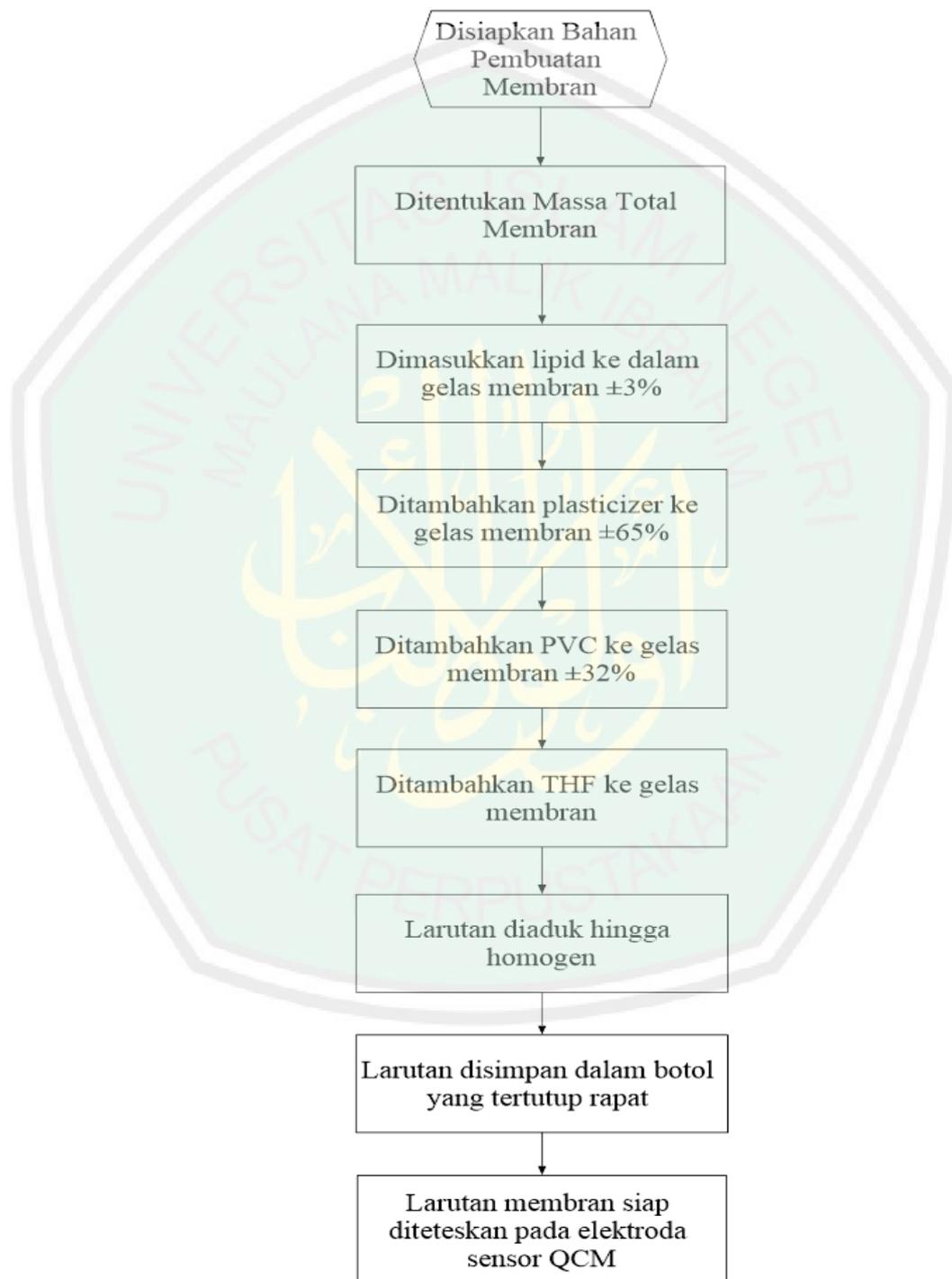


Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian.

3.4 Tahap persiapan

- 1) Dilakukan pembuatan membran lipid *Oleic Acid* dengan proses pembuatan ditunjukkan pada keterangan dan gambar berikut:
 - a. Disiapkan komponen membran lipid yang terdiri dari *Oleic Acid*, *Plasticizer: 2-NPOE*, *Polivinyll Chloride (PVC)* dan *Tetrahydrofuran (THF)*.
 - b. Ditentukan massa total membran yang akan digunakan.
 - c. Dilakukan pengukuran komposisi bahan membran sesuai dengan massa total dengan presentase bahan *Oleic Acid* sebanyak 3%, *Plasticizer:2-NPOE* sebanyak 65%, *Polivinyll Chloride (PVC)* sebanyak 32 % dan *Tetrahydrofuran (THF)* secukupnya.
 - d. Ditempatkan lipid *Oleic Acid* sebanyak 3% pada gelas membran yang berfungsi sebagai bahan aktif membran yang berinteraksi langsung dengan sampel.
 - e. Ditambahkan *PVC* sebanyak 32% dari massa total ke dalam gelas membran.
 - f. Ditambahkan *Plasticizer: 2-NPOE* sebanyak 65% dari massa total ke dalam gelas membran yang berfungsi sebagai pemlastis membran.
 - g. Ditambahkan *Tetrahydrofuran (THF)* secukupnya pada gelas membran yang berfungsi sebagai pelarut antara *Oleic Acid*, *Plasticizer: 2-NPOE* dan *PVC*.
 - h. Dilakukan pengadukan pada campuran membran sampai homogen.

- i. Disimpan campuran membran dalam botol yang tertutup rapat dengan suhu ruang.
- j. Membran lipid *Oleic Acid* siap digunakan untuk tahap pelapisan.



Gambar 3.2 Proses Pembuatan Membran.

- 2) Dilakukan persiapan pelapisan elektroda perak yaitu sebagai berikut:
 - a. Dilakukan pelapisan membran lipid *Oleic Acid* menggunakan teknik *spin coating*.
 - b. Dipasang *vacuum chuck* atau tempat untuk sensor QCM pada rotor.
 - c. Ditempatkan sensor QCM diatas *vacuum chuck* kemudian ditutup dengan penutup *spin coater*.
 - d. Dinyalakan Alat *vacuum spin coater* tipe VTC-100.
 - e. Diatur kecepatan putar dan waktu putarnya, kecepatan putar pertama sebesar 500 rpm dengan T1 selama 10 s dan kecepatan putar kedua sebesar 3000 rpm dengan T2 = 60 s, kemudian tekan tombol “run”.
 - f. Diambil larutan membran 50 μ l ketika mesin berputar pada T1 dan ditempatkan diatas sensor.
 - g. Ditetaskan 50 μ l membran lipid *Oleic Acid* pada saat mesin mengalami peningkatan kecepatan putar atau pada T2 menggunakan mikropipet dengan sekali tetes.
 - h. Ditunggu sampai mesin *spin coater* berhenti berputar.
 - i. Diambil sensor QCM secara perlahan menggunakan pinset.
 - j. Setelah selesai melapisi, dibiarkan elektroda QCM selama 1 hari hingga pelapis pada membran menjadi kering sempurna dan siap untuk digunakan.
- 3) Dilakukan pengukuran HCl yang digunakan sebagai sampel sesuai dengan variasi konsentrasi yang digunakan.

- 4) Dilakukan pengenceran HCl dengan aquades sesuai dengan variasi konsentrasi sampel yang digunakan, dengan tahap sebagai berikut:
 - a. Diukur volume sampel HCl dengan menggunakan mikropipet sesuai dengan variasi konsentrasi yang akan digunakan.
 - b. Dilakukan pengenceran pada sampel HCl sesuai dengan variasi konsentrasi yang akan digunakan.
 - c. Dilakukan pemasangan sensor QCM pada holder QCM.
- 5) Dilakukan pemasangan sensor QCM pada holder QCM.

3.5 Tahap Pengambilan Data

3.5.1 Tahap Pengambilan Data Frekuensi Dasar (f_0)

- 1) Sensor QCM dengan elektroda perak tanpa lapisan membran pada botol sensor (pot sampel plastik 20 ml) dihubungkan pada holder QCM.
- 2) Dihubungkan kaki sensor QCM menggunakan kabel jumper pada OpenQCM.
- 3) Dihubungkan kabel USB dari alat OpenQCM dengan PC.
- 4) Dijalankan *software* OpenQCM 1.2 dan diberikan tegangan pada rangkaian sensor sehingga sensor berosilasi.
- 5) Ditunggu beberapa menit sehingga frekuensi osilasi sensor berada dalam keadaan *steady state*.
- 6) Dilakukan pengulangan percobaan minimal 5 kali.
- 7) Langkah-langkah poin 1-6 diulangi dengan sensor QCM yang telah dilapisi membran *Oleic Acid*.
- 8) Data frekuensi yang telah didapatkan dalam *software* data logger QCM kemudian disimpan dalam Microsoft Excel.

- 9) Dilakukan rata-rata dan analisis data sehingga didapatkan frekuensi dasar sensor (f_0) yang akan dicantumkan seperti pada tabel 3.3:

Tabel 3.3 Rencana Data Frekuensi Dasar

Percobaan ke-	Frekuensi Dasar (f_0)	
	Sebelum Pelapisan Membran	Setelah Pelapisan Membran
1		
2		
3		
4		
5		

3.5.2 Tahap Pengambilan Data HCl Sebelum Pelapisan Membran

- 1) Sensor QCM dengan elektroda perak tanpa lapisan membran dipasangkan pada holder QCM, kemudian ditempatkan pada botol sensor.
- 2) Dihubungkan kabel jumper dari alat OpenQCM dengan kaki holder sensor QCM.
- 3) Dihubungkan kabel USB dari alat OpenQCM dengan PC.
- 4) Sampel HCl diujikan ke dalam OpenQCM satu persatu sesuai dengan variasi sampel pada tabel 3.4.
- 5) *Software* data logger QCM dijalankan dan ditunggu selama 5 menit.
- 6) Sensor QCM dibersihkan setiap pergantian variasi konsentrasi sampel HCl.
- 7) *Software* dimatikan setelah semua variasi sampel diujikan.
- 8) Seluruh data yang telah didapatkan dalam *software* data logger QCM kemudian disimpan dalam Microsoft Excel dengan format seperti tabel 3.4:

Tabel 3.4 Rencana Data HCl Sebelum Pelapisan

Konsentrasi (mM)	HCl dengan Elektroda Perak Murni	
	Waktu (s)	Frekuensi(Hz)
0		
100		
150		
200		
250		
300		
350		
400		
450		
500		
550		
600		
650		
700		
750		
800		
850		
900		
950		
1000		

3.5.3 Tahap Pengambilan Data HCl Setelah Dilapisi Membran

- 1) Sensor QCM yang telah dilapisi membran lipid *Oleic Acid* dipasangkan pada holder QCM, kemudian ditempatkan pada botol sensor.
- 2) Dihubungkan kabel jumper dari alat OpenQCM dengan kaki holder sensor QCM.
- 3) Dihubungkan kabel USB dari alat OpenQCM dengan PC.
- 4) Sampel HCl diujikan ke dalam holder QCM satu persatu sesuai dengan variasi sampel pada tabel 3.5.
- 5) *Software* data logger QCM dijalankan dan ditunggu selama 5 menit.

- 6) Sensor QCM dibersihkan menggunakan aquades setiap pergantian variasi konsentrasi sampel HCl.
- 7) *Software* dimatikan setelah semua variasi sampel diujikan.
- 8) Seluruh data yang telah didapatkan dalam *software* data logger QCM kemudian disimpan dalam Microsoft Excel dengan format seperti tabel 3.5:

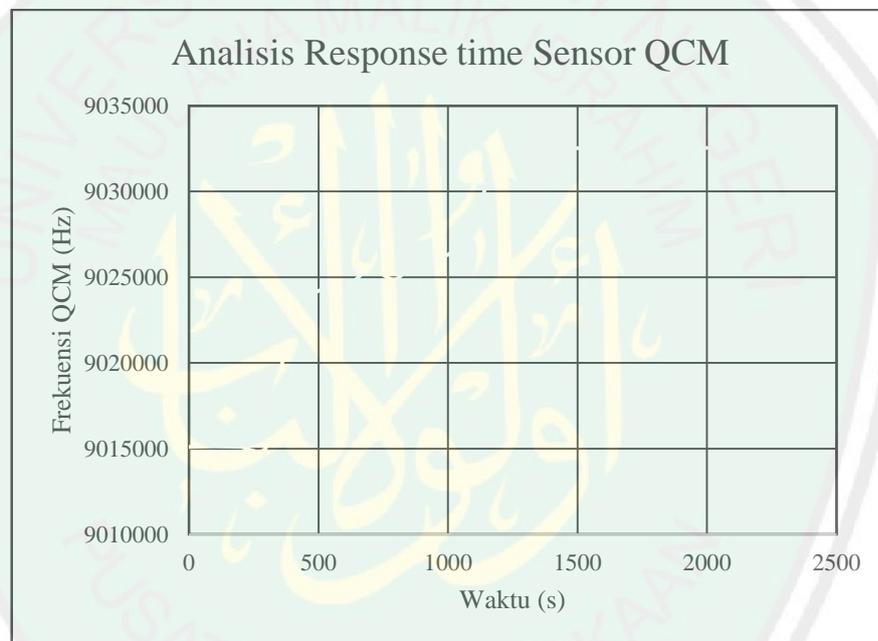
Tabel 3.5 Rencana Variasi Sampel HCl

Konsentrasi (mM)	HCl	
	Waktu (s)	Frekuensi (Hz)
0		
100		
150		
200		
250		
300		
350		
400		
450		
500		
550		
600		
650		
700		
750		
800		
850		
900		
950		
1000		

3.6 Pengolahan Data

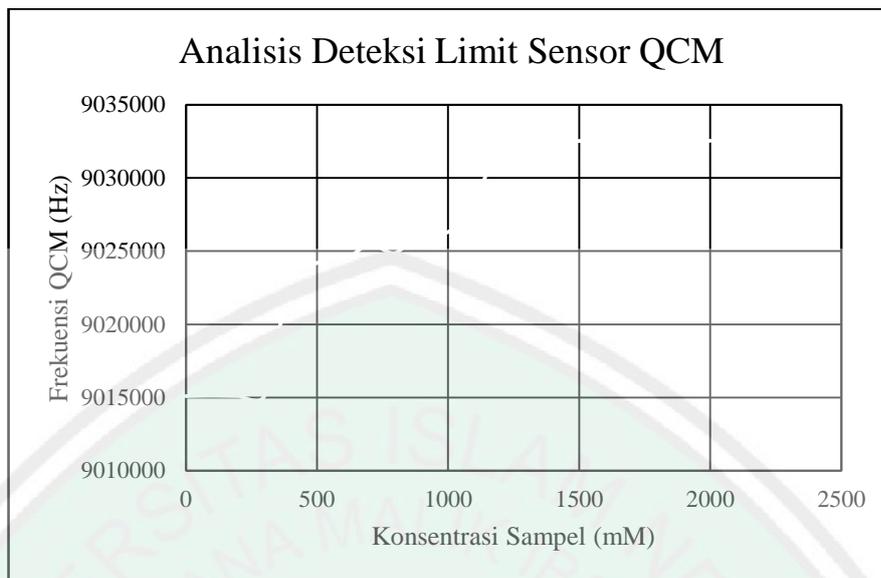
- 1) Data yang disimpan di Microsoft Excel 2013 kemudian diambil rata-rata dari 200 data terakhir untuk diolah menggunakan OriginPro2017.
- 2) Dibuka aplikasi *software* pengolah data OriginPro 2017.
- 3) Pada *workbook*, masukkan data yang akan diolah.

- 4) Kemudian klik *button* “*line+symbol*”, agar grafik yang dihasilkan berupa garis dan simbol.
- 5) Dilakukan plot grafik pada data pengujian sampel antara variabel waktu dan perubahan frekuensi osilasi untuk mengetahui tingkat *response time* sensor.
- 6) Disimpan hasil *plotting data* dengan cara klik menu “*File*” kemudian pilih *Export* dan simpan file sesuai format yang diinginkan.
- 7) Gambar grafik dapat disimpan dengan menggunakan format *.jpg atau *.jpeg.



Gambar 3.3 Rencana Analisis *Response Time* Sensor

- 8) Dilakukan plot grafik pada data pengujian sampel antara variabel konsentrasi sampel dan perubahan frekuensi osilasi untuk mengetahui deteksi limit sensor yang ditunjukkan pada gambar berikut:



Gambar 3.4 Rencana Analisis Deteksi Limit Sensor

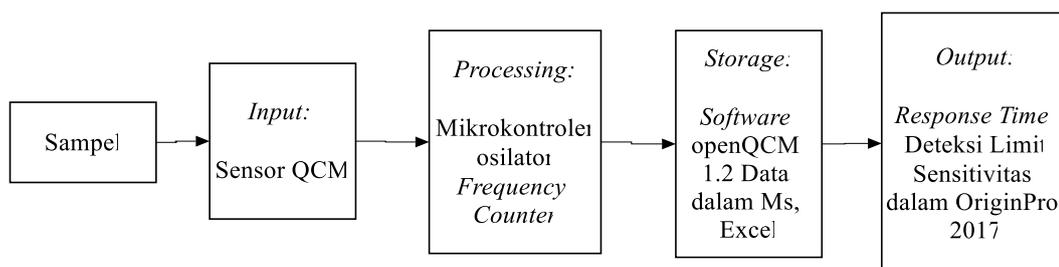
3.7 Analisis Data

Penentuan nilai *response time* sensor dan deteksi limit akan dianalisis dari grafik yang diperoleh dari *software* OriginPro. Analisis grafik deteksi limit dilakukan dengan menentukan daerah mati, daerah kerja dan daerah saturasi sensor. Regresi grafik pada bagian daerah kerja sensor yaitu untuk mengetahui nilai linearitas dan sensitivitas sensor. Untuk melakukan regresi linear, klik menu “*Analysis*” kemudian pilih *Fitting-Linear fit* maka akan keluar hasil analisis dari regresi linear tersebut. Sehingga hasil yang diperoleh berupa karakterisasi dan nilai sensitivitas sensor.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini secara garis besar adalah langkah awal untuk mengembangkan sensor lidah elektronik. Sebelumnya telah dikembangkan sensor lidah elektronik tetapi menggunakan sensor yang berbeda yaitu *array sensor*. Penelitian ini menggunakan sensor *Quartz Crystal Microbalance* (QCM) yaitu sebuah sensor yang terbuat dari kristal kuarsa dan elektroda didalamnya. Alat yang dipakai dalam penelitian ini yaitu satu set OpenQCM dan sensor QCM itu sendiri. Kemudian, disambungkan pada *software* OpenQCM versi 1.2 untuk menampilkan interface data dalam PC.

Sensor *Quartz Crystal Microbalance* (QCM) bekerja dengan menggunakan prinsip *Piezoelectric* untuk pengujian sampel. Sistem QCM yang digunakan yaitu *hardware* dan *software*. Bagian *hardware* QCM yaitu seperangkat OpenQCM yang terdiri atas tiga komponen penyusun yaitu *Arduino micro board*, *QCM Arduino shield*, dan sensor suhu. Alat OpenQCM memiliki panjang 56 mm, lebar 48 mm, dan tinggi 34 mm. Pada *hardware* inilah yang bertugas untuk melakukan *processing data* dari mikrokontrol, osilator dan *frequency counter*. Kemudian, sistem *software* OpenQCM versi 1.2 yang dibangun dari pemrograman java digunakan untuk *storage* penampil data pada PC dan disimpan dalam *data logger*.



Gambar 4.1 Sistem Pengujian Sensor QCM dengan Sampel HCl.

Sistem akuisisi data sensor QCM yang ditunjukkan oleh gambar 4.1 terdiri atas 4 bagian. Empat bagian tersebut yaitu bagian *input* (masukan), bagian *processing* (pengolahan data), bagian *storage* (penyimpanan) dan bagian *output* (keluaran). Pada bagian *input* terdapat sensor QCM yang berelektroda perak. Sensor yang digunakan terdapat 2 jenis yaitu sensor dengan elektroda perak tanpa pelapisan membran lipid *Oleic Acid* dan sensor dengan pelapisan membran lipid *Oleic Acid*. *Input* dari sistem ini yaitu sampel yang ditetaskan diatas sensor QCM menghasilkan frekuensi tertentu ini. Sampel yang digunakan yaitu Asam Klorida (HCl) dengan variasi konsentrasi 100-1000 mM.

Bagian sistem *processing* (pengolahan data) yaitu mikrokontroler, osilator dan *frequency counter*. Bagian *processing* ini ada pada OpenQCM yang mana terbagi menjadi tiga komponen penyusun yaitu *Arduino micro board*, *QCM arduino shield*, dan sensor suhu. Setelah itu data akan ditampilkan pada PC yang dihubungkan antara OpenQCM dengan PC menggunakan kabel data. Kemudian *Software* OpenQCM versi 1.2 akan menampilkan data hasil pengujian berupa grafik, kemudian data tersebut akan tersimpan pada data *logger* pada *software* OpenQCM versi 1.2. Grafik yang ditampilkan merupakan grafik frekuensi dan suhu secara *real time*. Data tersebut kemudian dianalisis menggunakan *software* OriginPro 2017 sehingga menghasilkan *output* berupa deteksi limit, *response time*, dan sensitivitas sensor QCM.

4.1 Data Hasil Penelitian

4.1.1 Sistem Akuisisi Data

Sistem akuisisi data pada sensor QCM ini seperti pada skema gambar 4.1. Dimana terdapat *input* (Masukan) kemudian diproses pada sistem bagian *processing* (pemrosesan) selanjutnya disimpan pada *software* OpenQCM versi 1.2 yaitu bagian *storage* (penyimpanan). Setelah itu data dianalisis dengan *software* OriginPro 2017 dan didapat *output* (keluaran).

Bagian sistem input yaitu bagian yang berinteraksi langsung dengan sampel. Sampel yang telah ditetaskan pada sensor akan menimbulkan respon pada sensor QCM dan sinyal akan dikirim ke bagian *processing*. Sampel yang digunakan adalah asam klorida (HCl) yang mewakili rasa asam. Kemudian sensor yang digunakan ada 2 variasi yaitu sensor berelektroda perak dengan lapisan membran lipid *Oleic Acid* dan sensor berelektroda perak tanpa lapisan membran.

Jenis sensor yang digunakan adalah kristal resonator dengan diameter 8.90 mm dan disertai holder tipe HC-49/U. Panjang holder sensor sebesar 13.46 mm dan diameter elektroda peraknya yaitu sebesar 5.10 mm. Sensor yang digunakan memiliki noise yang rendah yaitu dibawah 0,1 MHz sehingga memiliki akurasi dan stabbilitas yang cukup tinggi. Sensor yang diproduksi oleh great micro ini dapat digunakan menguji sampel yang berfasa gas, *liquid* , maupun *vacuum*.

Sensor QCM yang dipakai adalah yang berelektroda perak (Ag) dan terdapat 2 variasi. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya variasi sensor yang dipakai yaitu sensor berelektroda perak tanpa pelapisan membran lipid *Oleic Acid* dan sensor berelektroda perak dengan pelapissan membran lipid. Dua variasi ini

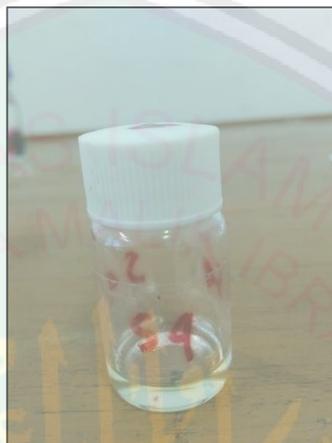
digunakan untuk mengetahui nilai sensitivitas dan selektifitas sensor. Membran lipid yang digunakan yaitu *Oleic Acid* (Asam Oleat), dimana membran ini telah digunakan pada lidah elektronik dalam jurnal Al-Jazuly (2016). Tidak terdapat kelebihan khusus dalam penggunaan membran lipid *Oleic Acid*, membran ini adalah salah satu dari 12 membran yang digunakan untuk melapisi elektroda pada *E-Tongue*. Membran ini memiliki selektivitas yang cukup bagus untuk sampel berupa asam klorida (HCl) sebagai wakil dari rasa asam. Sehingga membran ini digunakan pada sensor QCM seperti layaknya pada elektroda pada *E-Tongue* untuk melihat respon sensor terhadap sampel asam klorida. Sensor yang digunakan ialah seperti pada gambar 2.10.



Gambar 4.2 Sensor QCM Sebelum Dilapisi oleh Membran.

Pelapisan membran lipid *Oleic Acid* menggunakan metode *Spin Coating*. Membran yang dilapiskan merupakan kombinasi antara membran aktif lipid *Oleic Acid*, *Plasticizer*, *Polyvinyl Chloride* (PVC) dan *Tetrahydrofuran* (THF). Sebelum dilarutkan lipid aktif, *Plasticizer*:2-NPOE, dan *Polivinyl Chloride* (PVC) dicampur terlebih dahulu kemudian dilarutkan menggunakan THF dengan perbandingan 1:1.

Volume yang digunakan masing-masing yaitu 100 μ l. Setelah semuanya telah dicampur maka membran disimpan pada wadah tertutup dan didiamkan 24 jam agar lebih homogen. Membran lipid *Oleic Acid* yang digunakan adalah seperti pada gambar 4.3.



Gambar 4.3 Membran Lipid Aktif *Oleic Acid*.

Membran yang telah didiamkan selama 24 jam kemudian siap dilapiskan pada permukaan sensor QCM. Permukaan yang dilapisi hanya salah satu sisinya saja, karena pada saat pengujian sampel hanya diteteskan pada salah satu permukaan sensor. Teknik yang digunakan untuk melapisi sensor dengan membran lipid aktif adalah teknik *Spin Coating*. Teknik *Spin Coating* adalah teknik dimana memutar objek yang akan dilapisi menggunakan *spin coater*, kemudian pelapisnya diteteskan di atasnya sehingga terbentuk lapisan yang rata. Kecepatan putaran pada pelapisan sensor QCM menggunakan membran lipid *Oleic Acid* yaitu sebesar 500 rpm untuk kecepatan pertama, dan 3000 rpm untuk kecepatan kedua. Setiap pelapisan sensor QCM digunakan membran 50 μ l.



Gambar 4.4 (a) Sensor QCM dalam *Spin Coater*. (b) *Vacuum Spin Coater*.

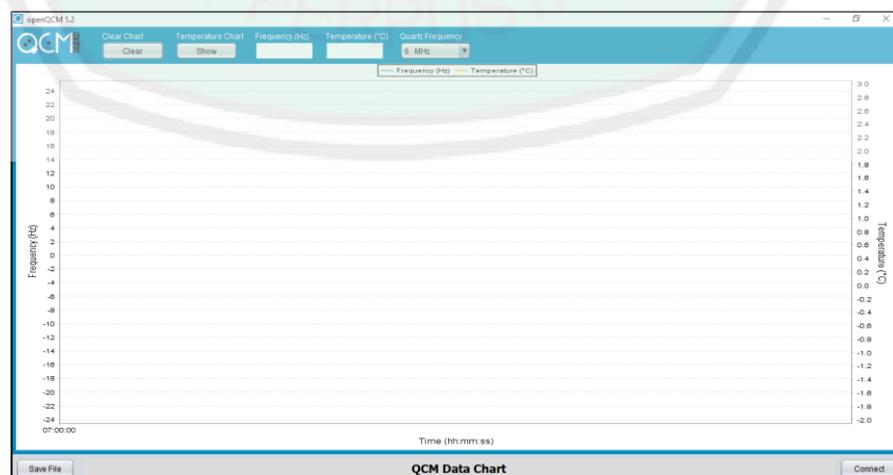
Bagian data *processing* data yaitu OpenQCM yang berfungsi sebagai mikrokontroler, isolator dan *frequency counter*. *Processing data* merupakan bagian penghubung antara *input* dengan *software* yang berfungsi sebagai *storage* pada PC. Bagian sistem ini yang berperan untuk memberikan tindakan pada input, seperti isolator sebagai penggetar sensor yang kemudian akan dihitung jumlah getarannya dan diterjemahkan sebagai frekuensi sebagai *frequency counter*. Kedua komponen tersebut dikendalikan oleh mikrokontroler arduino yang terdapat didalam OpenQCM dan kemudian dihubungkan ke PC.

Komponen *hardware* pada rangkaian openQCM terdiri dari tiga komponen utama yaitu *Arduino Micro board*, *QCM Arduino shield* dan *temperature sensor*. *Arduino Micro* dalam sensor QCM menggunakan mikrokontroller tipe ATmega32u4 dengan 8-bit CPU yang dapat beroperasi pada pengukuran frekuensi maksimal 16 MHz. Tegangan yang digunakan sebesar 5 VDC untuk mengoperasikan *quartz crystal oscillator driver* dan untuk membaca data analog dari sensor temperatur.



Gambar 4.5 Rangkaian OpenQCM.

Bagian storage (penyimpanan) terdiri dari *Software* OpenQCM versi 1.2 dan Ms. Excel 2013. *Software* OpenQCM versi 1.2 dapat digunakan pada *platform* Windows, Linux dan Mac OS X. *Software* OpenQCM ini dibangun menggunakan pemrograman *Java Interface*. Tampilan pada *software* OpenQCM ini adalah berupa grafik dimana grafik dengan sumbu X berupa waktu secara *real time* dan *double* sumbu Y berupa frekuensi dan suhu. Terdapat beberapa bagian lain yang ditampilkan pada *software* openQCM 1.2 diantaranya tampilan nilai frekuensi dalam satuan Hz, tampilan nilai temperatur dalam satuan °C dan batas akhir frekuensi. Tampilan interface *software* OpenQCM yaitu sebagai berikut.



Gambar 4.6 Tampilan Awal *Software* OpenQCM 1.2.

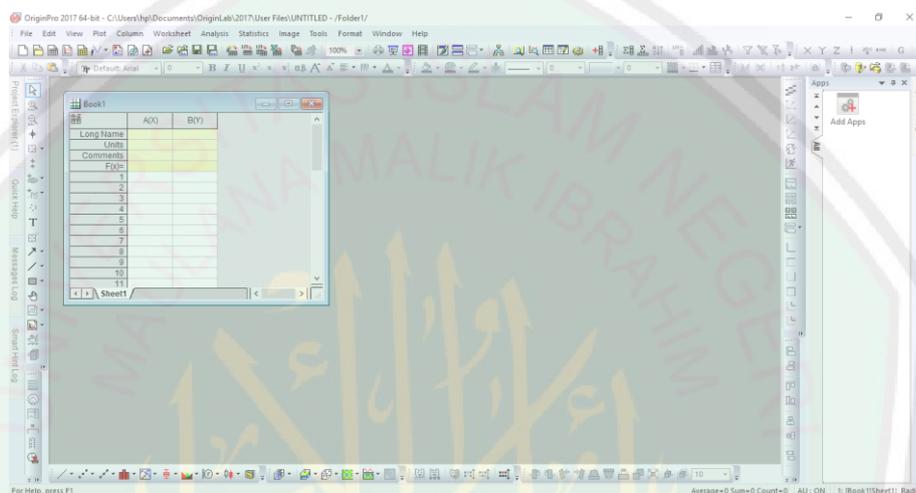
Penggunaan *software* OpenQCM ini harus terkoneksi dahulu ke *Hardware* OpenQCM menggunakan kabel data. Kemudian, dikoneksikan *software* dengan hardware dengan menekan tombol Connect pada *software*. Sebelum itu pastikan batas frekuensi telah pada angka 10MHz. Apabila *software* dan hardware OpenQCM telah tersambung satu sama lain maka tekan tombol save file dan simpan data pada PC. Maka data akan terekam dan tersimpan pada data logger OpenQCM. Grafik yang muncul secara real time akan otomatis tersimpan dan banyak data tergantung berapa durasi pengambilan data. Penentuan durasi pengujian dapat dikontrol secara manual karena sistem sensor QCM belum dapat dikontrol secara otomatis. Kontrol untuk memulai dan mengakhiri proses pengujian sampel dapat dilakukan pada tombol *connect/disconnect* yang terdapat di bagian bawah kanan *software* openQCM 1.2.



Gambar 4.7 Tampilan *Software* OpenQCM 1.2 pada Saat Pengujian.

Bagian Output (Keluaran) adalah data yang telah diolah oleh *software* pengolah data OriginPro 2017. Output dari sistem ini yaitu berupa nilai deteksi limit sensor, sensitivitas sensor dan *response time* (waktu tanggap). Ketiga parameter tersebut merupakan parameter untuk karakteristik suatu sensor atau transduser.

Bagian *storage* menyimpan data berupa nilai frekuensi osilasi sensor, kemudian nilai frekuensi tersebut dianalisis dalam *software* originPro 2017 dan didapat nilai tiga parameter tersebut. *Software* OriginPro 2017 merupakan *software* pengolah data dalam hal analisis grafik yang sering digunakan di dunia industri. Tampilan OriginPro 2017 seperti pada gambar dibawah.



Gambar 4.8 Tampilan *Software* Pengolah Data OriginPro 2017.

Nilai *Response Time* diperoleh dari *plotting* data antara frekuensi osilasi sensor dan waktu pengujian. Nilai yang diambil adalah waktu naik (*rise time*) hingga menuju ke waktu saturasi sensor. Nilai *Response Time* dapat diketahui langsung dari *plotting* tersebut, sehingga tidak perlu dilakukan analisis lebih lanjut.

4.1.2 Preparasi Sampel

Sampel yang digunakan dalam penelitian ini yaitu sampel larutan asam klorida (HCl). Sampel larutan asam klorida (HCl) ini mewakili rasa asam. Konsentrasi larutan HCl yang digunakan sebanyak 20 variasi konsentrasi dengan berkisar antara 100 -1000 mM dengan konsentrasi intervalnya 50 mM.

Asam klorida (HCl) digunakan untuk mewakili rasa asam pada makanan. Variasi konsentrasi yang diujikan pada sensor yaitu mulai dari 100 mM, 150 mM, 200 mM, 250 mM, 300 mM, 350 mM, 400 mM, 450 mM, 500 mM, 550 mM, 600 mM, 650 mM, 700 mM, 750 mM, 800 mM, 850 mM, 900 mM, 950 mM, 1000 mM. Interval sangat kecil digunakan agar diketahui perubahan frekuensi sekecil mungkin.

Sampel asam klorida (HCl) yang digunakan berfasa cair dengan presentase kadar kepekatan sebesar 32% dan nilai molaritasnya sebesar 10.53 M. Kemudian sampel diencerkan dengan aquades menjadi 20 variasi konsentrasi seperti yang telah dijelaskan. Konsentrasi yang digunakan sangat rendah agar dapat mengetahui sekecil mungkin sensor tersebut dapat merespon perubahan konsentrasi. Sampel asam klorida (HCl) diencerkan dengan 100 ml aquades menggunakan rumus pengenceran seperti dibawah ini.

$$M_1 \cdot V_1 = M_2 \cdot V_2 \quad (4.1)$$

Keterangan :

M_1 = Konsentrasi HCl pekat

V_1 = Volume HCl pekat

M_2 = Konsentrasi pengenceran yang diinginkan

V_2 = Volume pengencer (aquades) yang digunakan

Konsentrasi HCl pekat yang digunakan yaitu 10.53 M yang mana konversi dari presentase kadar kepekatan 32%. Kemudian dioperasikan dengan konsentrasi yang diinginkan yaitu mulai dari 100 mM sampai 1000 mM dengan interval 50 mM. Dan volume pengencer yang digunakan yaitu sebesar 100 ml. Kemudian yang dicari adalah volume HCl pekat berdasarkan variasi konsentrasi. Adapun jumlah

volume HCl pekat pada masing-masing konsentrasi sampel berdasarkan hasil perhitungan ditunjukkan pada tabel 4.1.

Tabel 4.1. Pengenceran Asam Klorida (HCl).

No	Konsentrasi HCl M_2 (mM)	Volume HCl V_2 (ml)
1	100	0,9497
2	150	1,4245
3	200	1,8993
4	250	2,3742
5	300	2,8490
6	350	3,3238
7	400	3,7987
8	450	4,2735
9	500	4,7483
10	550	5,2232
11	600	5,6980
12	650	6,1728
13	700	6,6477
14	750	7,1225
15	800	7,5973
16	850	8,0722
17	900	8,5470
18	950	9,0218
19	1000	9,4967

4.1.3 Proses Pengujian Sampel

Pengujian dilakukan dua kali variasi yaitu pengujian asam klorida (HCl) dengan sensor QCM yang tidak dilapisi dengan membran dan pengujian asam klorida (HCl) dengan sensor QCM yang telah dilapisi membran *Oleic Acid*. Sensor yang digunakan yaitu sensor QCM yang berelektroda perak. Pengujian dilakukan setelah preparasi sampel, dilakukan dalam wadah tertutup yang terbebas dari udara luar yang akan mengontaminasi sensor. Sensor diletakkan pada sebuah botol berukuran 20 ml diusahakan agar tidak terjadi pergerakan pada sensor saat pengujian. Kemudian sensor dihubungkan dengan OpenQCM menggunakan kabel

jumper, dalam OpenQCM terdapat arduino micro dan seperangkatnya yang terhubung dengan kabel USB ke komputer. Seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.9.



Gambar 4.9 Rangkaian Alat Pengujian Sampel.

Perlakuan sebelum pengujian sampel terhadap sensor, sensor QCM elektroda perak yang telah dilapisi membran *Oleic Acid* dan yang tidak dilapisi membran dijalankan lebih dahulu untuk mengetahui nilai frekuensi dasarnya (f_0). Pengujian dilakukan sebanyak 5 kali dengan rentang waktu selama 5 menit (300 sekon) setiap satu kali pengujian. Hasil pengujian tersebut kemudian dirata-rata dijadikan sebagai kontrol dalam pengujian sampel. Kontrol pada pengujian sampel nanti yaitu frekuensi dasar (f_0) dari frekuensi sensor QCM elektroda perak tanpa membran dengan nilai frekuensi dasar (f_0) sensor dengan pelapisan membran *Oleic Acid*.

Pengujian pertama dengan cara meneteskan sampel asam klorida (HCl) diatas sensor tanpa membran sebanyak 100 μ l menggunakan micropipet tetes. Pengujian dilakukan sebanyak 5 kali dengan rentang waktu selama 5 menit (300 sekon) setiap satu kali pengujian. Pengujian dimulai dari konsentrasi sampel yang paling rendah yaitu 100 mM hingga konsentrasi yang paling tinggi yaitu 1000 mM. Pengujian dilakukan selama 5 menit (300 sekon) agar didapat hasil yang stabil karena respon

time sensor rata-rata dimulai sebelum 1 menit. Pengulangan sebanyak lima kali dilakukan agar mendapat hasil yang akurat.

Pengujian berdasarkan variasi sampel dilakukan sebanyak 20 kali. Setiap pergantian sampel sensor QCM dibersihkan dengan cara dibilas menggunakan aquades hingga netral kembali, kemudian dikeringkan menggunakan blower. Sebelum ditetaskan kembali sampel selanjutnya, pengujian frekuensi dasar harus dilakukan karena merupakan proses kalibrasi sensor. Apabila kalibrasi sensor tidak tepat maka sensor masih dalam keadaan belum benar-benar kering atau belum kembali dalam keadaan semula, maka harus ditunggu atau dikeringkan hingga memiliki f_0 yang sama seperti sebelum pengujian sampel.

Hasil pengujian semua sampel akan tersimpan dalam data logger dan ditampilkan berupa grafik pada *software* OpenQCM 1.2. Data yang tersimpan kemudian dipindahkan ke *software* Microsoft Excel 2013 dan diambil 300 data awal untuk dirata-rata. Setelah itu, dilakukan *plotting* data menggunakan *software* pengolah data OriginPro 2017. Hasil *plotting* data digunakan untuk menentukan nilai *response time*, deteksi limit, dan sensitivitas sensor. Penentuan deteksi limit akan membagi hasil *plotting* menjadi tiga bagian yaitu daerah mati, daerah kerja dan daerah saturasi. Sensitivitas sensor dapat diketahui dari daerah kerja yang diregresikan. Daerah kerja diregresi linear menggunakan *software* pengolah data OriginPro 2017, sehingga didapat persamaan kemiringan kurva $y = a \pm bx$. Nilai b pada persamaan kemiringan kurva merupakan nilai gradien atau kemiringan kurva, dalam analisis ini nilai b merupakan sensitivitas sensor.

4.1.4 Data Hasil Pengujian Sampel HCl

Hasil pengujian sampel asam klorida (HCl) yang tersimpan dalam data *logger* yaitu berupa nilai frekuensi osilasi sensor. Sensor yang diujikan terdapat dua macam yaitu dengan pelapisan membran *Oleic Acid* dan tanpa pelapisan membran, sehingga data yang diperoleh juga terdapat dua macam. Hasil pengujian menunjukkan apabila konsentrasi semakin besar maka frekuensi osilasi sensor menjadi semakin kecil. Sebelum pengujian menggunakan sampel, sensor diuji frekuensi dasarnya (f_0). Data hasil pengujian frekuensi dasar sensor ditunjukkan pada tabel 4.2.

Tabel 4.2 Hasil Pengujian Frekuensi dasar (f_0)

Percobaan ke-	Frekuensi Dasar (f_0)	
	Sebelum Pelapisan Membran (Hz)	Sesudah Pelapisan Membran <i>Oleic Acid</i> (Hz)
1	10136147,02	10003769
2	10008206,62	10003777
3	10008216,94	10003781
4	10008218,01	10003784
5	10008208,78	10003788
Rata-Rata	10033799,47	10003780

Tabel 4.2 menunjukkan frekuensi dasar (f_0) dari sensor yang telah dilapisi membran *Oleic Acid* dan sensor yang tidak dilapisi membran. Data tersebut digunakan sebagai kontrol saat pengujian menggunakan sampel asam klorida (HCl). Sehingga, nilai frekuensi tersebut menjadi acuan pada saat penggantian berbagai konsentrasi. Setelah diketahui nilai frekuensi dasar tersebut, dilanjutkan pengujian sensor dengan sampel asam klorida (HCl) dan data yang diperoleh adalah frekuensi osilasi seperti pada tabel berikut.

Tabel 4.3 Data Hasil Pengujian Sampel HCl

No.	Konsentrasi HCl yang diuji (M)	Sebelum Pelapisan membran <i>Oleic Acid</i>		Setelah Pelapisan membran <i>Oleic Acid</i>	
		Frekuensi (Hz)	Waktu <i>Steady State</i> (s)	Frekuensi (Hz)	Waktu <i>Steady State</i> (s)
1.	0,1	15925800,6	14	16000000	12
2.	0,15	15825755		16000000	
3.	0,2	13520394,5		15999999,7	
4.	0,25	12658431,2		11955221,1	
5.	0,3	12412443,5		11532969,2	
6.	0,35	12051251,6		11593908,4	
7.	0,4	11712201,7		11042445,8	
8.	0,45	11588768,4		10895826,9	
9.	0,5	11406340,4		10607881,5	
10.	0,55	11362326,1		10281194,7	
11.	0,6	11086620,2		10385437,6	
12.	0,65	10984955,3		10402298,7	
13.	0,7	11029840,8		10097237,5	
14.	0,75	10830356,6		10318730,9	
15.	0,8	10699613,2		10032821,6	
16.	0,85	10641644,4		10046518,6	
17.	0,9	10720976,8		9860034,8	
18.	0,95	10558153,9		9922388	
19.	1	10625384,8		9947310,18	

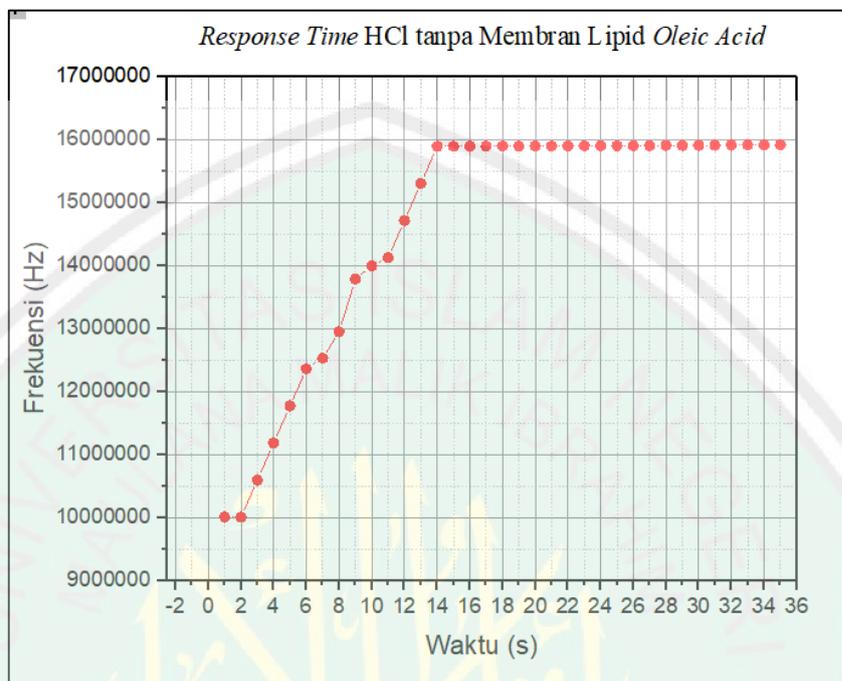
Tabel 4.3 menunjukkan frekuensi osilasi sensor setelah ditetesi oleh sampel asam klorida (HCl) baik sensor yang dilapisi membran *Oleic Acid* dan sensor tanpa pelapisan membran. Kemudian, dilakukan pengujian *response time* yaitu pada waktu ke berapa sekon sensor akan *steady state*. Pengujian *response time* ini diambil dari waktu respon sensor saat stabil, konsentrasi yang digunakan untuk uji waktu respon ini yaitu konsentrasi yang paling kecil. Pengujian waktu respon menggunakan konsentrasi paling kecil ini dimaksudkan agar mengetahui waktu respon yang paling akurat.

Hasil data pengujian tersebut kemudian diolah menggunakan *software* pengolah data OriginPro 2017. Data tersebut akan menjadi tiga informasi dasar karakterisasi sensor, yaitu deteksi limit, sensitivitas dan waktu tanggap sensor. Data hasil pengujian akan ditampilkan berupa grafik oleh *software* OriginPro 2017, dan akan lebih mudah dianalisis.

Waktu tanggap (*response time*) merupakan salah satu bagian parameter yang penting untuk mengkarakterisasi suatu sensor. Waktu tanggap sensor merupakan waktu yang diperlukan sensor untuk merespon perubahan *input* yang diberikan. Nilai waktu tanggap yang kecil menjadi karakteristik sensor yang bagus kualitasnya, karena semakin cepat sensor merespon perubahan *input*. Uji waktu tanggap ini menggunakan sampel HCl 100 mM, konsentrasi yang diuji paling kecil agar dapat diketahui respon sensor sekecil mungkin. Setelah didapat data hasil pengujian waktu tanggap sensor, kemudian diolah menggunakan *software* OriginPro 2017. Sehingga didapat hasil berupa grafik waktu tanggap sensor QCM tanpa pelapisan membran dan sensor QCM dengan pelapisan membran.

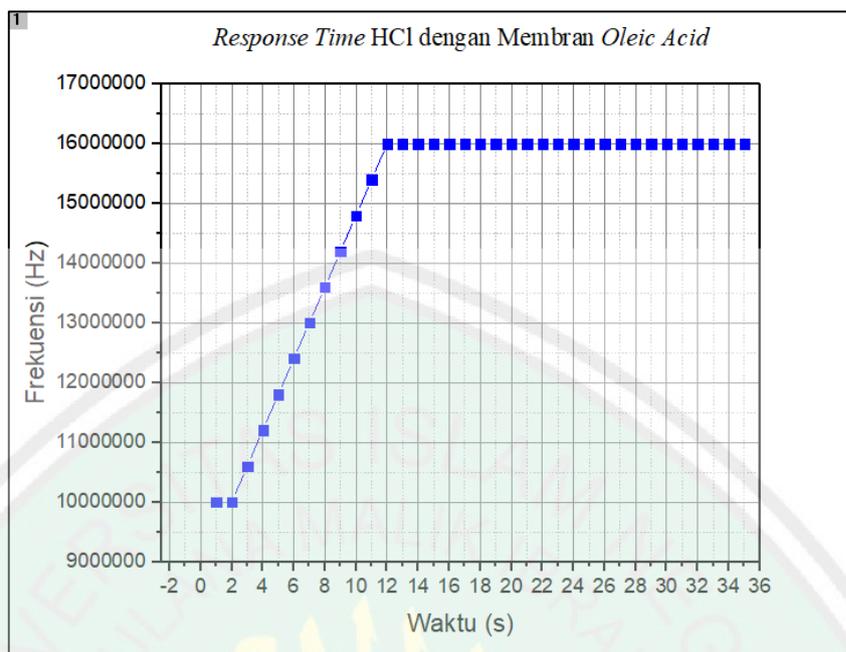
Gambar 4.10 menunjukkan bahwa waktu tanggap sensor sebelum dilapisi membran *Oleic Acid* pada detik ke 3 frekuensi mengalami kenaikan. Saat frekuensi mengalami kenaikan inilah yang dinamakan waktu naik. Saat waktu naik frekuensi yang dicapai yaitu sebesar 10.597.929 Hz. Kemudian frekuensi akan terus naik hingga detik ke 14. Saat detik ke 14 sensor mulai stabil atau mengalami *steady state* hingga detik ke 300 akhir waktu pengujian. Frekuensi yang dicapai sensor QCM tanpa pelapisan membran lipid *Oleic Acid* saat *steady state* yaitu sebesar 15952740,3 Hz. Sensor QCM dengan elektroda perak murni tanpa pelapisan

membran dapat dikatakan sensitif terhadap sampel HCl karena memiliki waktu respon yang dinilai cepat yaitu sebesar 14 detik.



Gambar 4.10 *Response time* HCl tanpa Membran *Oleic Acid*.

Gambar 4.11 menunjukkan hasil *Response time* sensor QCM setelah dilapisi oleh membran *Oleic Acid*. Hasil tersebut menunjukkan bahwa pada detik ke 3 frekuensi mengalami kenaikan dari 10.000.000 Hz menjadi 10606995,8 Hz. Detik ke 3 ini merupakan waktu naik sensor QCM setelah dilapisi membran *Oleic Acid*. Kemudian frekuensi mengalami kenaikan secara linear sampai pada waktu detik ke 12 s. Saat detik ke 12 s frekuensi mulai stabil yaitu pada 16.000.000 Hz sampai pada detik ke 300 yaitu akhir pengujian. Sehingga didapat waktu stabil pada sensor setelah dilapisi membran *Oleic Acid* adalah 12 s.



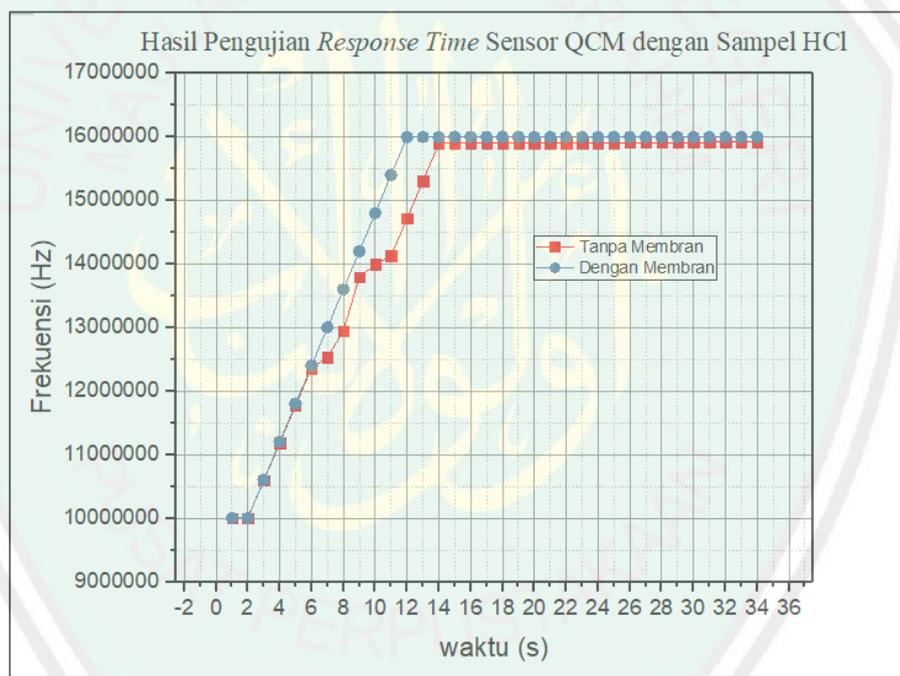
Gambar 4.11 *Response time* HCl dengan Membran *Oleic Acid*.

Hasil *response time* dari dua variasi sensor QCM didapat hasil yang sedikit berbeda. Hasil pengujian *response time* untuk sensor QCM tanpa pelapisan membran *Oleic Acid* yaitu memiliki waktu naik sebesar 3 detik dan waktu stabil sebesar 14 detik. Sedangkan untuk sensor QCM dengan pelapisan membran *Oleic Acid* yaitu memiliki waktu naik sebesar 3 detik dan waktu stabil sebesar 12 detik. Kedua variasi ini berbeda pada waktu stabilnya, pada sensor QCM yang telah dilapisi memiliki waktu stabil yang lebih cepat daripada sensor tanpa pelapisan membran.

Tabel 4.4 Hasil Analisis *Response Time* Sensor QCM

No.	Jenis Sampel	Waktu Naik	Waktu <i>Steady State</i>
1	HCl tanpa membran lipid <i>Oleic Acid</i>	Detik ke 3	Detik ke 14
2	HCl dengan membran lipid <i>Oleic Acid</i>	Detik ke 3	Detik ke 12

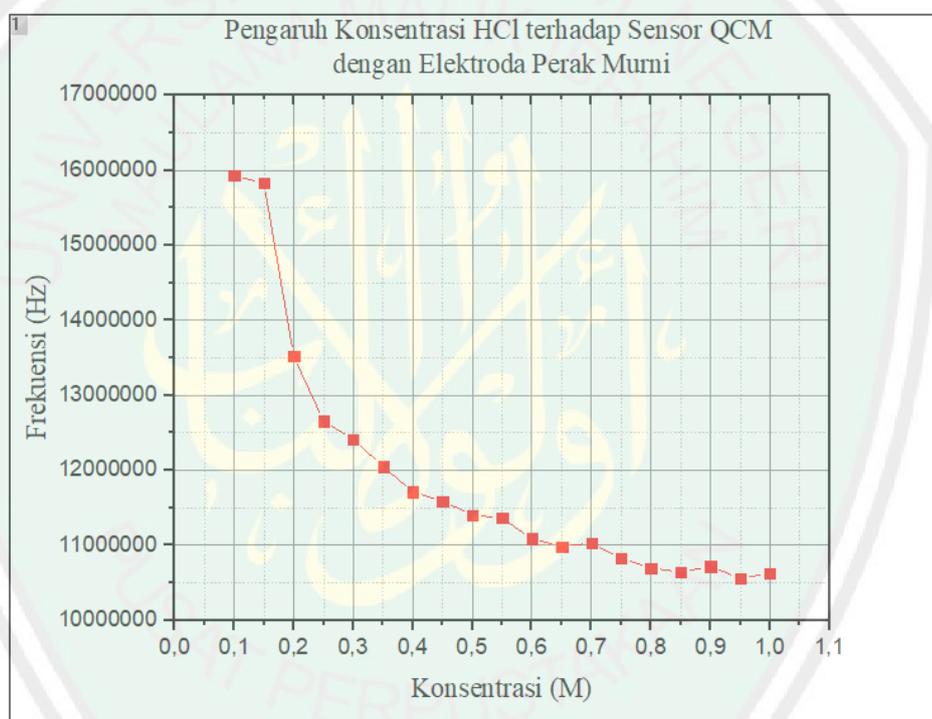
Pelapisan membran lipid *Oleic Acid* pada elektroda sensor berpengaruh terhadap tanggapan waktu sensor dalam merespon sampel. Nilai *response time* sensor QCM dengan lapisan membran lipid *Oleic Acid* dinilai lebih baik daripada sensor QCM tanpa membran lipid. Waktu tanggap tersebut menunjukkan bahwa sensor dengan pelapisan membran lipid *Oleic Acid* lebih cepat merespon sampel. Sehingga dari parameter ini dapat diketahui bahwa sensor dengan pelapisan membran lipid *Oleic Acid* lebih bagus kualitasnya dalam merespon sampel. Adapun grafik perbandingan kedua pengujian tersebut seperti pada gambar 4.12.



Gambar 4.12 Hasil Pengujian *Response Time* Sensor QCM dengan Sampel HCl.

Deteksi limit sensor merupakan salah satu parameter penting untuk mengkarakterisasi sensor. Deteksi limit merupakan kemampuan suatu sensor untuk mendeteksi adanya perubahan pada *input*. Limit atau batas ambang merupakan batas daerah yang mampu dideteksi oleh sensor tersebut, terdapat limit atas dan limit bawah. Daerah pada deteksi limit ini dibagi menjadi tiga bagian yaitu daerah

mati, daerah kerja, dan daerah saturasi. Limit atas terdapat pada batas ambang tertinggi pada perubahan yang dideteksi sensor. Nilai limit atas yaitu pada saat sensor akan mencapai daerah saturasi. Sedangkan untuk limit bawah ketika sensor mulai merespon adanya perubahan input pertama kali setelah mengalami *dead band*. Penelitian ini menggunakan konsentrasi yang rendah, sehingga kemungkinan munculnya nilai limit atas sangat kecil, karena limit atas hanya terjadi pada sampel yang memiliki konsentrasi tinggi.

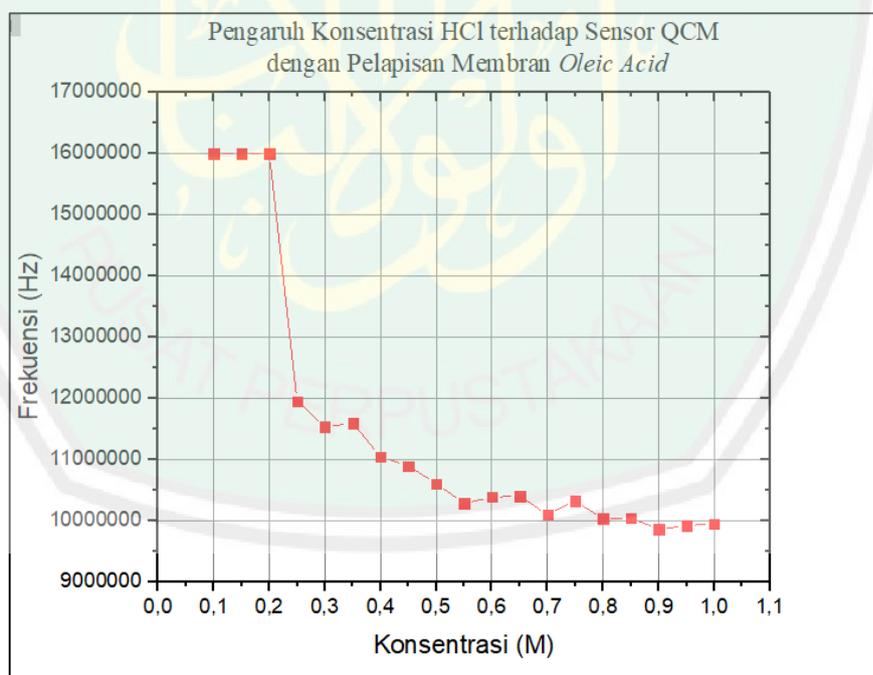


Gambar 4.13 Pengaruh Konsentrasi HCl terhadap Sensor QCM dengan Elektroda Perak Murni.

Gambar 4.13 merupakan grafik hubungan antara konsentrasi dengan frekuensi. Hasil yang ditunjukkan sesuai dengan persamaan *Saurey*, yang menjelaskan hubungan antara pertambahan massa pada permukaan sensor akan menambah perubahan frekuensi osilasi sensor. Pertambahan konsentrasi larutan

sampel HCl menyebabkan menurunnya frekuensi osilasi sensor. Hal ini menunjukkan bahwa perubahan massa sebanding dengan perubahan frekuensi.

Pengaruh konsentrasi HCl terhadap sensor QCM yaitu dapat dilihat pada gambar 4.13, dimana pada konsentrasi 0-0.15 M HCl sensor mengalami daerah mati (*dead band*). Daerah mati ini merupakan daerah dimana sensor belum bisa merespon perubahan sampel masukan (*input*). Kemudian setelah itu frekuensi mengalami penurunan yang signifikan pada konsentrasi 0.2 M dengan frekuensi osilasinya sebesar 13.520.394,5 Hz. Setelah itu frekuensi osilasi terus menerus mengalami penurunan yang hampir linear. Sehingga daerah inilah yang disebut daerah kerja sensor. Daerah kerja sensor QCM tanpa pelapisan membran lipid *Oleic Acid* yaitu dimulai dari konsentrasi 0,25 M sampai konsentrasi tertinggi yaitu 1 M.



Gambar 4.14 Pengaruh Konsentrasi HCl terhadap Sensor QCM dengan Pelapisan Membran Lipid *Oleic Acid*.

Gambar 4.14 merupakan hasil plot antara penambahan konsentrasi dengan frekuensi osilasi sensor QCM. Sensor yang digunakan yaitu sensor QCM dengan pelapisan membran lipid *Oleic Acid*. Terdapat sedikit perbedaan deteksi limit sensor QCM tanpa pelapisan membran dengan sensor QCM dengan pelapisan membran lipid. Sensor dengan pelapisan membran lipid mengalami *dead band* hingga konsentrasi 0,2 M. Hal ini menunjukkan bahwa sensor QCM dengan pelapisan membran lipid *Oleic Acid* mampu merespon input sampel HCl mulai konsentrasi 0,25 M. Kemudian nilai frekuensi osilasinya menurun signifikan pada konsentrasi 0,25 M dan terus turun hingga konsentrasi paling tinggi yaitu 1 M. Kita tidak dapat menentukan limit atasnya dikarenakan membutuhkan konsentrasi yang lebih banyak lagi untuk mencapai daerah saturasinya.

Daerah mati (*Dead Band*) terjadi pada konsentrasi 0-0,2 M, hal dikarenakan frekuensi osilasi tidak mengalami perubahan yang signifikan. Kemudian pada saat konsentrasi 0,25 M frekuensi mengalami penurunan yang signifikan menjadi 11.955.221,1 Hz dengan frekuensi awalnya yaitu 15.999.999,7 Hz. Frekuensi osilasi terus menerus mengalami penurunan seiring bertambahnya konsentrasi sampel. Penurunan frekuensi ini berkisar antara 11,9-9,9 MHz, penurunan frekuensi osilasi ini merupakan daerah kerja sensor karena sensor dapat mendeteksi sampel dengan menurunnya nilai frekuensi osilasi.

Sensor yang tidak dilapisi membran lipid *Oleic Acid* dengan sensor yang dilapisi membran lipid *Oleic Acid* memiliki daerah kerja yang sedikit berbeda. Daerah kerja sensor yang tidak dilapisi membran memiliki daerah kerja antara konsentrasi 0.2-1 M. Rentang frekuensi daerah kerja sensor yang tidak dilapisi

membran yaitu 13,5 MHz sampai dengan 10,6 MHz. Sedangkan untuk sensor yang telah dilapisi oleh membran lipid *Oleic Acid* memiliki daerah kerja antara konsentrasi 0,25-1 M. Daerah kerja frekuensi osilasi sensor yang dilapisi oleh membran lipid yaitu memiliki rentang antara 11,9 MHz sampai dengan 9,9 MHz.

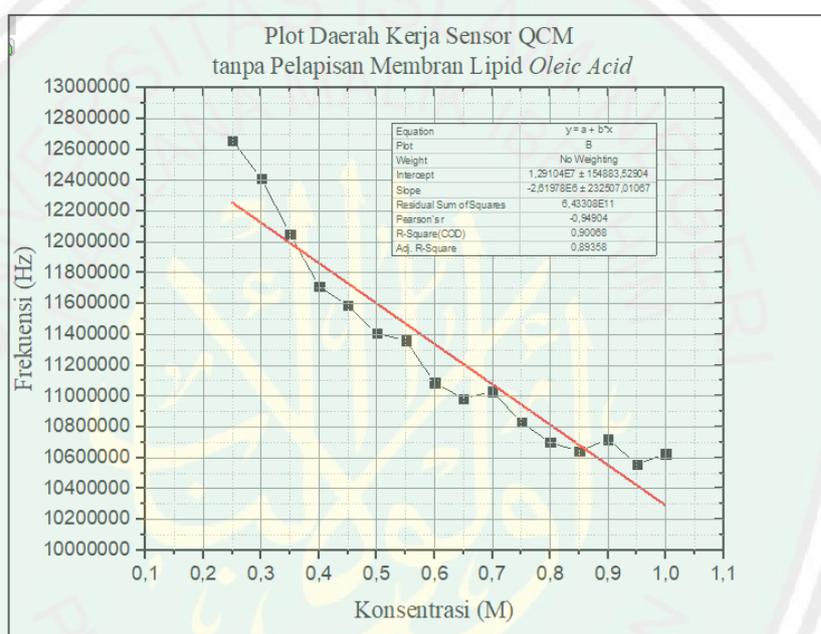
Tabel 4.5 Analisis Deteksi Limit Sensor QCM

No.	Jenis Pengujian	Konsentrasi Limit Bawah (M)	Frekuensi Limit Bawah (Hz)	Daerah Mati (<i>Dead Zone</i>)	Daerah Kerja
1	HCl tanpa membran lipid	0,2	13520394,5	0 M – 0,150 M	0,2 M – 1 M
2	HCl dengan lapisan membran lipid	0,25	11955221,1	0 M – 0,2 M	0,25 M – 1 M

Sensitivitas sensor merupakan salah satu parameter penting dalam mengarakterisasi sebuah sensor. Sensitivitas adalah kepekaan suatu sensor untuk merespon sebuah masukan atau perubahan masukan. Sensitivitas sensor dapat dianalisis dari grafik plot daerah kerja sensor. Plot daerah kerja sensor diregresikan secara linear sehingga akan muncul sebuah persamaan linear yaitu $y = a \pm bx$. Nilai gradien atau kemiringan kurva merupakan nilai sensitivitas sensor.

Variabel y adalah nilai *output* sensor yang pada penelitian ini berupa frekuensi osilasi sensor. a adalah nilai frekuensi osilasi (*output*) sensor ketika *input* (sampel uji) bernilai nol. a biasa disebut *intercept* (gelinciran) pada analisis regresi linear. b adalah nilai kemiringan suatu garis lurus atau sensitivitas. Variabel (y) berhubungan dengan variabel (x) dimana nilainya adalah sebanding. Variabel (y) yang menyatakan frekuensi osilasi sensor sebanding dengan variabel (x) yang merupakan konsentrasi sampel.

Plot daerah kerja yang diregresi linear akan memunculkan nilai determinasi. Nilai determinasi atau yang disebut dengan *R square* atau R^2 merupakan nilai pengaruh variasi konsentrasi terhadap nilai keluaran sensor. Apabila nilai determinasi semakin mendekati 1 maka sampel mempunyai pengaruh yang sangat baik terhadap keluaran sensor. Nilai determinasi 1 menunjukkan bahwa hasil regresi linear plot sangat linear atau nilai x sangat mempengaruhi nilai y .

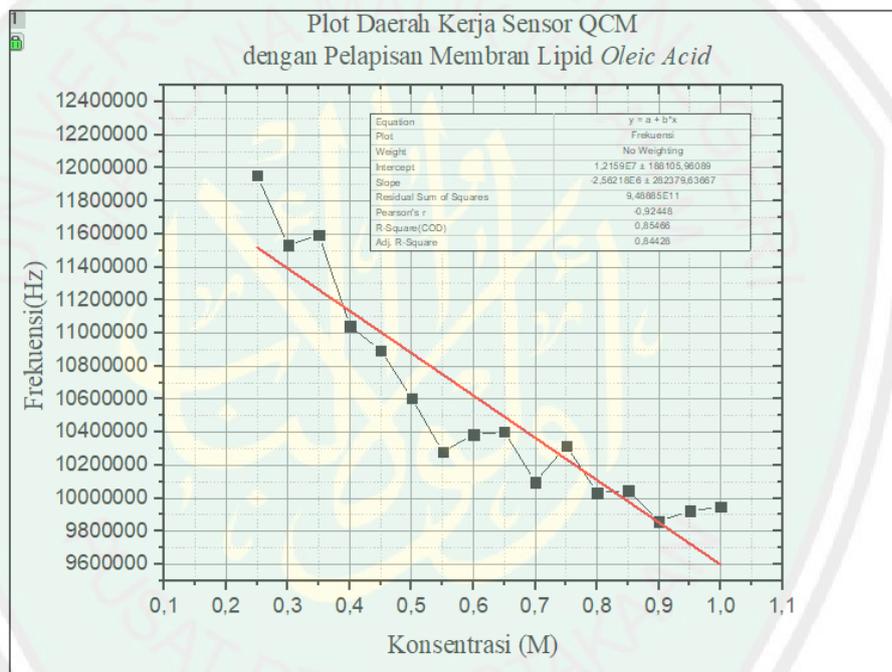


Gambar 4.15 Plot Daerah Kerja Sensor QCM tanpa Membran *Lipid Oleic Acid*.

Tabel 4.6 Analisis Regresi Linear Pengujian Sensor QCM Tanpa Membran

Parameter	Keterangan
<i>Equation</i>	$y = a + b \cdot x$
<i>Plot</i>	B
<i>Weight</i>	No Weighting
<i>Intercept</i>	1,29104E7 ± 154883,52904
<i>Slope</i>	-2,61978E6 ± 232507,01067
<i>Residual Sum of Squares</i>	6,43308E11
<i>Pearson's r</i>	-0,94904
<i>R-Square(COD)</i>	0,90068
<i>Adj. R-Square</i>	0,89358

Hasil dari analisis regresi linear pengujian sensor QCM tanpa membran lipid *Oleic Acid* yaitu diperoleh persamaan $y = 1,29104E7 - 2,61978E6x$ dan koefisien determinasi $R^2 = 0,90068$. Nilai sensitivitas sensor tanpa pelapisan membran lipid yaitu sebesar $2,61978E6$ Hz/M. Nilai *slope* nya bernilai negatif artinya semakin tinggi nilai x (variasi konsentrasi) maka semakin kecil nilai y (frekuensi) nya. Adapun untuk pengaruh variasi konsentrasi sampel terhadap frekuensi yaitu sebesar 90.07%.



Gambar 4.16 Plot Daerah Kerja Sensor QCM dengan Membran *Lipid Oleic Acid*.

Tabel 4.7 Analisis Regresi Linear Pengujian Sensor QCM dengan Membran

Parameter	Keterangan
<i>Equation</i>	$y = a + b*x$
<i>Weight</i>	No Weighting
<i>Intercept</i>	$1,2159E7 \pm 188105,96089$
<i>Slope</i>	$-2,56218E6 \pm 282379,63667$
<i>Residual Sum of Squares</i>	$9,48885E11$
<i>Pearson's r</i>	-0,92448
<i>R-Square(COD)</i>	0,85466
<i>Adj. R-Square</i>	0,84428

Hasil analisis regresi linear sensor QCM dengan pelapisan membran lipid *Oleic Acid* yaitu didapat persamaan $y = 1,2159E7 - 2,56218E6x$ dan nilai determinannya sebesar $R^2 = 0,85466$. Nilai sensitivitas sensor QCM yang telah dilapisi oleh membran yaitu sebesar $2,56218E6$ Hz/M. Pengaruh pengujian larutan HCl terhadap sensor senilai $0,85466$ atau sebanyak 85.46% . Daerah kerja sensor yang diregresikan terhadap dua variasi sensor disamakan, artinya daerah kerja sensor yang diregresikan sama-sama antara $0,25$ M sampai 1 M. Hal ini dilakukan agar dapat membandingkan hasil regresi antara sensor dengan pelapisan membran dengan sensor tanpa pelapisan membran.

Tabel 4.8 Hasil Analisis Sensitivitas Sensor

No.	Jenis Pengujian	Konsentrasi Limit Bawah (M)	Persamaan Regresi Linear	Koefisien Determinasi (R^2)
1	HCl tanpa membran lipid	0,25	$y = 1,29104E7 - 2,61978E6x$	0,90068
2	HCl dengan lapisan membran lipid	0,25	$y = 1,2159E7 - 2,56218E6x$	0,85466

Hasil analisis sensitivitas sensor pada tabel 4.8 menunjukkan adanya perbedaan. Pengujian HCl pada sensor tanpa pelapisan membran lipid *Oleic Acid* memiliki tingkat sensitivitas yang lebih tinggi daripada sensor dengan pelapisan membran lipid *Oleic Acid*. Nilai sensitivitas sensor tanpa pelapisan membran yaitu $2.619.780$ Hz/M. Sedangkan nilai sensitivitas sensor dengan pelapisan membran yaitu $2.562.180$ Hz/M. Selisih keduanya yaitu sebesar 57.600 Hz/M, selisih nilai sensitivitas ini tidak terlalu signifikan, tetapi dapat disimpulkan bahwa sensor QCM perak murni lebih sensitif daripada sensor QCM perak dengan pelapisan membran *Oleic Acid*. Kemudian nilai ketepatan data atau nilai determinasi yang lebih tinggi

adalah sensor tanpa pelapisan membran lipid *Oleic Acid* yaitu sebesar 0,90068. Dari analisis sensitivitas sensor tersebut maka terlihat bahwa sensor QCM tanpa pelapisan membran atau sensor perak murni memiliki tingkat sensitivitas yang lebih tinggi untuk merespon sampel HCl. Sehingga untuk mendeteksi rasa asam lebih cocok digunakan sensor tanpa pelapisan membran lipid *Oleic Acid*.

4.2 Pembahasan

Sensor *Quartz Crystal Microbalance* (QCM) telah diuji menggunakan sampel asam klorida (HCl). Sensor yang telah diuji terdapat dua variasi yaitu sensor QCM berelektroda perak tanpa pelapisan membran lipid dan sensor QCM berelektroda perak dengan pelapisan membran lipid *Oleic Acid*. Data hasil pengujian ada 1500 data untuk setiap konsentrasinya, jadi total semua data yang tersimpan pada data logger ada 60.000 data. Setiap satu konsentrasi dilakukan pengulangan sebanyak 5 kali. Sehingga tiap satu pengulangan menghasilkan sebanyak 300 data dalam durasi waktu 5 menit (300 detik). Data-data yang didapat dari 5 kali pengulangan ini selanjutnya di rata-rata 200 data terakhir untuk kemudian diolah menggunakan *software* pengolah data Originpro 2017.

Data yang didapat kemudian diolah dan dianalisis berdasarkan parameter karakteristik sensor. Parameter karakteristik sensor seperti yang telah dijelaskan yaitu deteksi limit, *response time* dan sensitivitas sensor. Parameter ini akan menunjukkan karakteristik sensor *Quartz Crystal Microbalance* (QCM) yang diaplikasikan dengan sampel yang berfase *liquid*.

Hasil pengujian *response time* menunjukkan bahwa nilai frekuensi sensor QCM dengan membran lipid lebih cepat merespon sampel dari pada sensor QCM

tanpa pelapisan membran lipid. Hasil tersebut dikarenakan adanya interaksi protonasi antara sampel dengan permukaan membran lipid. Interaksi protonasi adalah kemampuan suatu molekul untuk mengikat proton dari molekul lain. Membran Lipid *Oleic Acid* memiliki rumus kimia $C_{18}H_{34}O_2$, membran ini memiliki gugus karboksil dan gugus alkena.

Struktur molekul membran lipid *Oleic Acid* seperti pada gambar 2.8 terdapat gugus OH dan O merupakan gugus karboksil yang bersifat hidrofilik dimana gugus ini yang akan berinteraksi dengan sampel. Sedangkan gugus dengan rantai rangkap merupakan gugus alkena. Gugus karboksil yang berinteraksi dengan sampel akan lepas menjadi OH^- dan berinteraksi dengan sampel HCl yang juga akan sama-sama mengion menjadi ion H^+ dan Cl^- selain itu, karena pengenceran sampel menggunakan aquades maka terdapat ion OH^- pada sampel larutan HCl. Interaksi protonasi akan terjadi pada saat proses pengujian sampel HCl dengan sensor yang dilapisi membran. Sehingga nilai waktu respon lebih tinggi sensor dengan pelapisan membran, karena adanya interaksi protonasi pada permukaan membran yang menyebabkan laju reaksi mempercepat respon sensor.

Nilai limit bawah sensor QCM dengan membran memiliki daerah yang lebih tinggi daripada sensor QCM tanpa membran. Sensor QCM dengan pelapisan membran mampu merespon konsentrasi larutan HCl paling kecil yaitu 0.25 M. Hal ini dikarenakan sensor yang telah dilapisi membran lipid memiliki massa yang lebih besar dan menjadi berat untuk berosilasi ketika dilakukan perubahan konsentrasi sampel uji. Sehingga menyebabkan nilai limit bawah sensor QCM dengan membran lebih besar daripada sensor QCM tanpa membran.

Nilai limit atas sensor QCM dengan membran dan sensor QCM tanpa membran belum diketahui. Dikarenakan konsentrasi HCl yang digunakan hanya sampai 1 M. Pada konsentrasi 1 M nilai frekuensi sensor belum mencapai daerah saturasi. Konsentrasi sampel tidak ditambah lagi dikarenakan larutan HCl merupakan asam kuat yang bersifat korosif, dimana larutan ini jika digunakan dengan konsentrasi tinggi akan merusak holder sensor QCM.

Penentuan sensitivitas sensor berdasarkan pada daerah kerjanya. Sensitivitas merupakan hubungan antara perubahan sampel dengan perubahan frekuensi keluaran sensor. Nilai sensitivitas sensor QCM tanpa membran memiliki nilai yang lebih besar dari pada sensor QCM dengan membran untuk merespon sampel HCl. Nilai kesalahan data pada regresi daerah kerja tanpa membran sebesar 5% lebih kecil daripada nilai kesalahan dari data regresi sensor QCM menggunakan membran. Hal ini sangat mempengaruhi hasil sensor. Dimana seharusnya sensor QCM dengan pelapisan membran lebih sensitif terhadap sampel daripada sensor QCM tanpa membran. Karena adanya interaksi protonasi antara membran dengan sampel. Tetapi pada penelitian lidah elektronik menggunakan sensor *array*, Kobayashi (2010) menjelaskan bahwa interaksi antara membran dengan bahan asam tidak memiliki kemampuan adsorpsi yang bagus oleh bagian hidrofobik molekul lipid karena mereka mudah terhidrasi dalam larutan, sementara nilai ambang rasanya cukup rendah karena asam adalah sinyal untuk menunjukkan dekomposisi makanan.

4.3 Kajian Integrasi Islam

Indera pada manusia yang berfungsi untuk mengcap rasa pada makanan yaitu indera perasa atau lidah. Lidah berfungsi sebagai pengecap yang membantu mengunyah makanan, merasakan makanan, dan membedakan rasa makanan. Berikut adalah ayat 141 Surah al-An'am yang menjelaskan bahwa makanan yang dimakan manusia memiliki rasa yang berbeda-beda:

﴿ وَهُوَ الَّذِي أَنْشَأَ جَنَّاتٍ مَّعْرُوشَاتٍ وَغَيْرَ مَعْرُوشَاتٍ وَالنَّخْلَ وَالزَّرْعَ مُخْتَلِفًا أُكْلُهُ وَالزَّيْتُونَ وَالرُّمَانَ مُتَشَابِهًا وَغَيْرَ مُتَشَابِهٍ ۚ كُلُوا مِنْ ثَمَرِهِ إِذَا أَثْمَرَ وَءَاتُوا حَقَّهُ يَوْمَ حَصَادِهِ ۗ وَلَا تُسْرِفُوا ۚ إِنَّهُ لَا يُحِبُّ الْمُسْرِفِينَ ۝﴾

“Dan Dialah yang menjadikan kebun-kebon yang berjunjung dan yang tidak berjunjung, pohon korma, tanam-tanaman yang bermacam-macam buahnya, zaitun dan delima yang serupa (bentuk dan warnanya) dan tidak sama (rasanya). makanlah dari buahnya (yang bermacam-macam itu) bila Dia berbuah, dan tunaikanlah haknya di hari memetik hasilnya (dengan disedekahkan kepada fakir miskin); dan janganlah kamu berlebih-lebihan. Sesungguhnya Allah tidak menyukai orang yang berlebih-lebihan.” (QS. Al an'am [6] : 141).

Firman Allah SWT مُخْتَلِفًا أُكْلُهُ (berbeda-beda rasanya) maksudnya adalah rasa makanan ada yang enak dan ada pula yang tidak enak. Kata rasa dalam bahasa arab diungkapkan dengan lafadz الأكل , karena hanya dengan cara dimakan rasa makanan dapat diketahui. Kedudukan lafadz أُكْلُهُ pada ayat ini adalah sebagai *mubtada'* dan lafadz مُخْتَلِفًا berkedudukan sebagai *na'at* (Qurthubi, 2008).

Penjelasan al-Qur'an Surah al-An'am ayat 141 diatas menunjukkan bahwa lidah memiliki peran penting dalam proses makan sehingga suatu rasa makanan dapat dirasakan. Terdapat tonjolan-tonjolan pada permukaan lidah yang disebut *papilla*. *Papilla* pada lidah berfungsi sebagai reseptor rasa yang akan menghantarkan ke saraf pengecap yang terdapat pada otak. Sehingga otak dapat

menentukan rasa yang dikirim oleh saraf pengecap. *Papilla* lidah pada penelitian sensor QCM ini adalah membran lipid. Dimana, membran lipid adalah bagian yang berinteraksi dengan larutan sampel.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa rasa asam yang diwakili oleh HCl lebih direspon baik oleh sensor tanpa pelapisan membran. Hal ini tentu berbeda dengan lidah manusia yang merupakan ciptaan Allah SWT yang dapat merespon atau merasakan rasa asam dengan konsentrasi yang kecil. Lidah manusia memiliki lipid bilayer yang berfungsi untuk memfilter rasa pada makanan. Tetapi pengembangan sensor lidah ini bertujuan untuk merasakan rasa yang konsentrasinya diluar batas ambang lidah manusia, atau konsentrasi yang tinggi sehingga tidak memungkinkan untuk mencicipinya dengan lidah. Dan juga lidah manusia memiliki keberagaman selera rasa, dan kekonsistenannya bergantung pada tiap individu. Adanya sensor lidah elektronik ini untuk menyamakan kekonsistensian rasa pada makanan produksi pabrik.

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisis yang telah dipaparkan pada bab sebelumnya, maka dapat diambil kesimpulan antara lain:

1. *Response time* menunjukkan bahwa sensor QCM yang dilapisi membran lipid *Oleic Acid* lebih cepat merespon sampel HCl dari pada sensor QCM yang tidak dilapisi membran lipid. Sensor QCM yang dilapisi membran lipid *Oleic Acid* memiliki waktu respon yang baik dalam merespon sampel HCl yaitu pada detik ke 12 s. Sedangkan sensor QCM tanpa membran lipid *Oleic Acid* merespon sampel HCl pada detik ke 14 sekon, lebih lambat 2 detik daripada sensor QCM yang telah dilapisi membran. Adapun waktu naik (*rise time*) dari kedua pengujian memiliki waktu yang sama yaitu pada detik ke 3 sekon.
2. Hasil dari deteksi limit menunjukkan bahwa nilai limit bawah pada sampel HCl Sensor QCM tanpa lapisan membran lipid dan dengan lapisan membran lipid *Oleic Acid* merespon sampel HCl pada konsentrasi 0,2 M dan 0,25 M. Sensor QCM tanpa lapisan membran lipid dapat merespon sampel HCl dengan baik. Daerah mati pada sensor QCM tanpa pelapisan membran lipid *Oleic Acid* yaitu 0 M sampai 0,2 M. Sedangkan sensor dengan pelapisan membran lipid *Oleic Acid* memiliki daerah mati mulai dari 0 sampai 0,25 M.

3. Hasil sensitivitas sensor diperoleh dari nilai *slope* garis regresi linear. Nilai *slope* yang dihasilkan dari kedua pengujian bernilai negatif (-) untuk menunjukkan bahwa terjadi penurunan frekuensi pada saat konsentrasi ditingkatkan. Nilai sensitivitas untuk sensor QCM yang tidak dilapisi membran lipid *Oleic Acid* lebih tinggi daripada menggunakan sensor QCM dengan lapisan membran lipid dalam merespon sampel HCl. Nilai sensitivitas sensor tanpa pelapisan membran yaitu 2.619.780 Hz/M. Sedangkan nilai sensitivitas sensor dengan pelapisan membran yaitu 2.562.180 Hz/M. Selisih keduanya yaitu sebesar 57.600 Hz/M.
4. Ketepatan data atau tingkat kepercayaan data sensor QCM tanpa dilapisi membran lipid *Oleic Acid* lebih tinggi dari pada sensor QCM yang dilapisi membran lipid. Nilai R^2 untuk sensor QCM tanpa dilapisi membran lipid pada sampel HCl adalah 0,90068 atau memiliki tingkat ketepatan data sebesar 90.06%. Sedangkan pada sensor QCM yang dilapisi membran lipid memiliki $R^2 = 0,85466$ dengan ketepatan 85.47% untuk sampel HCl. Nilai R^2 ini menunjukkan seberapa besar pengaruh sampel terhadap nilai *output* sensor.

5.2 Saran

Adapun saran yang perlu dilakukan untuk perkembangan penelitian ini yaitu:

1. Konsentrasi sampel lebih tingkatkan agar limit atas dan saturasi dapat diketahui.
2. Pengujian dilakukan terhadap sampel rasa dasar yang lain, agar dapat diketahui respon terbaik dari sensor QCM berbasis membran lipid *Oleic Acid*.
3. Botol sensor perlu dilakukan desain ulang supaya gangguan (*noise*) dapat diperkecil dan dapat menghasilkan data yang akurat.

DAFTAR PUSTAKA

- Al-Qur'an Al Karim. 1989. *Al-Quran dan Terjemahannya*. Departemen Agama RI. Semarang: Toha Putera.
- Afniza. 2008. *Frequency Counter Berbasis Mikrokontroler AT89S52*. Universitas Sumatera Utara
- Agustina dkk. 2006. *Penggunaan Teknologi Membran pad Pengolahan Air Limbah Industri Kelapa Sawit: Jurnal Penelitian. Riset Lingkungan Kementerian Perindustrian RI*.
- Amerongen, AV Nieuw. 1991. *Ludah dan Kelenjar Ludah*. Penj. Abyono R. Yogyakarta: Universitas Gajah Mada.
- Anonim. 2010. *Asam Oleat*. Medan: Universitas Sumatra Utara.
- Ayad, dkk. 2009. *A sensor of alcohol vapours based on thin polyaniline base film and quartz crystal microbalance*. vol.168. pp.85–88.
- Babar, S. dkk. 2016. *Sensors and Actuators B : Chemical Detection of 3-Carene in mango using a quartz crystal microbalance sensor*. *Sensors & Actuators: B. Chemical*, 230, pp.791–800.
- Bearzotti, A. dkk. 2017. *A study of a QCM sensor based on pentacene for the detection of BTX vapors in air*. *Sensors and Actuators, B: Chemical*, 240, pp.1160–1164. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.snb.2016.09.097>.
- Buzhynskyy, N. dkk. 2009. *Annexin-A6 presents two modes of association with phospholipid membrans. A combined QCM-D , AFM and cryo-TEM study*. *Journal of Structural Biology*, 168(1), pp.107–116.
- Casteleiro-Roca, J.L. dkk. 2014. *New approach for the QCM sensors characterization*. *Sensors and Actuators, A: Physical*, 207, pp.1–9.
- Dunér, G. dkk. 2013. *Journal of Colloid and Interface Science Quartz Crystal Microbalance with Dissipation (QCM-D) studies of the viscoelastic response from a continuously growing grafted polyelectrolyte layer. , 408, pp.229–234*.
- Fuada, S. 2013. *Analisis Oscilator Astabel Multivibrator IC 741UA menggunakan Pendekatan Matlab dan Software Elektronik*. Prosiding SENTIA, 5.
- Guyton AC, Hall JF. 2009. *Text book of medical physiology (taste and smell)*. 11 th Ed. Mississipi: Elesevier Book Aid International.
- Ha, D. dkk. 2015. *Sensors and Actuators B : Chemical Recent achievements in electronic tongue and bioelectronic tongue as taste sensors*. 207, pp.1136–1146.
- Henderson, John. 1991. *Electronic Devices Concepts and Applications*. Prentice Hall, NJ. pages: 357

- Jacob, T. 2010. *A Tutorial on the sense of Taste*. UK: Cardiff University.
- Kadidae, La Ode. 2000. *Sintesis Benzileugenol dan Pemanfaatannya sebagai Komponen Membran Elektroda Selektif Ion*. Yogyakarta: UGM.
- Kobayashi, Yoshikazu. dkk. 2010. *Advanced Taste sensors Based on artificial lipids with global selectivity to based taste qualities and high correlation to sensory scores*. *Sensor Journal*. Vol.10 pages 3411-3443.
- Lakitan, Benyamin. 1993. *Dasar-dasar Fisiologi Tumbuhan*. Jakarta: Raja Grafindo Persada.
- Malvino, A. P. 1982. *Prinsip-Prinsip Dasar Elektronika*. Jakarta: Erlangga.
- Nakamura, T. dkk. 2002. *The effect of various substances on the suppression of the bitterness of quinine-human gustatory sensation*. *Binding and taste sensor studies*. Tokyo: Chem Pharm Bull (12): 1589-93.
- Novaetech. 2016. OpenQCM. Retrieved September 20, 2017, from <http://openqcm.com/openQCM/>.
- Pearce. 2008. *Anatomi dan Fisiologi untuk Paramedis (Indera Pengecap dan Pencium)*. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama.
- Pudjiadi, Ana. 1990. *Dasar-dasar Biokimia*. Jakarta: Universitas Indonesia.
- Qurthubi, Syaikh Imam. 2008. *Tafsir Al Qurthubi*. Jakarta: Pustaka Azzam.
- Rohman, A. 1996. *Tafsir Kariim ar-Rahman*. Kairo: Dar Ibn Hazm.
- ScienceLab. 2009. Msds HCl.
- Sharma, P. dkk. 2015. *Monitoring The Fermentation Process of Black Tea Using QCM Sensor Based Electronic Nose*. *Sensors and Actuators, B: Chemical*, 219, 146–157. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2015.05.013>.
- Tazi, I. dkk. 2016. *A Novel Arduino Mega 2560 Microcontroller-Based Electronic Tongue for Dairy Product Classification*. *AIP Conference Proceedings*. 170003, pp.21–26.
- Togari, N. dkk. 1995. *Relating Sensory Properties Of Tea Aroma To Gas Chromatographic Data By Chemometric Calibration Methods*. *Food Research International*, 28(5). 485–493. [https://doi.org/10.1016/0963-9969\(95\)00028-3](https://doi.org/10.1016/0963-9969(95)00028-3)
- Toko, K. 1998. *Electronic Sensing of Tastes*. *Electroanalysis*, 10(10), 657–669. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1521-4109\(199808\)10:10<657::AID-ELAN657>3.0.CO;2-F](https://doi.org/10.1002/(SICI)1521-4109(199808)10:10<657::AID-ELAN657>3.0.CO;2-F).
- Zampetti, E. dkk. 2008. *Use of a multiplexed oscillator in a miniaturized electronic nose based on a multichannel quartz crystal microbalance*. *Sensors and Actuators, B*: 131. hal: 159–166.





LAMPIRAN

Lampiran 1 Dokumentasi Kegiatan



Sampel HCl yang diuji



Alat Penelitian



Membran lipid *Oleic Acid*



Tetrahydrofuran (THF)



OpenQCM



Sensor sebelum dilapisi membran



Sensor setelah dilapisi membran



Sensor dalam botol uji



Vacuum Spin Coater VTC-100



Sensor QCM dalam VTC-100



Proses pengambilan data



Proses pelapisan sensor



Lampiran 2 Data Hasil Penelitian

1. Pengujian HCl menggunakan sensor QCM tanpa pelapisan membran

100 mM	150 mM	200 mM	250 mM	300 mM
15902784,3	15819683,58	13585305,71	12625913,55	12391806,31
15913940,75	15817552,56	13557816,33	12650483,49	12405008,31
15932352,47	15825401,63	13514646,55	12665088,75	12414683,28
15940815,23	15831078	13483347,07	12673190,47	12420734,94
15939110,13	15835059,25	13460856,97	12677479,51	12429984,65
350 mM	400 mM	450 mM	500 mM	550 mM
12058520,56	11664315,62	11556055,99	11351805,87	11337066,5
12069673,75	11701956,86	11584507,51	11369207,96	11356884,98
12084619,53	11719360,52	11594100,38	11412193,3	11368325,57
12011904,54	11731452,57	11601421,71	11445226,29	11373146,63
12031539,47	11743923,12	11607756,27	11453268,84	11376206,91
600 mM	650 mM	700 mM	750 mM	800 mM
11077821	10969421	11015244	10821474,66	10684363
11082636	10981578	11030793	10829279,71	10696714
11086650	10988718	11033413	10833219,28	10702582
11090641	10991620	11034263	10834318,29	10705808
11095353	10993440	11030838	10833491,41	10708599
850 mM	900 mM	950 mM	1000 mM	
10631437,99	10729297	10549769	10612570,46	
10640520,43	10739123	10557861	10623058,77	
10644951,6	10712662	10561203	10628763,90	
10645700,62	10712208	10561094	10630911,39	
10645611,17	10711595	10560842	10631619,33	

2. Pengujian HCl menggunakan sensor QCM dengan pelapisan membran

Oleic Acid

100 mM	150 mM	200 mM	250 mM	300 mM
16000000	16000000	16000000	11898638,61	11506790
16000000	16000000	16000000	11941845,64	11522946
16000000	16000000	15999999	11965563,55	11539474
16000000	16000000	16000000	11979585	11546314
16000000	16000000	16000000	11990472,53	11549321
350 mM	400 mM	450 mM	500 mM	550 mM
11551429,55	11011225	10884069	10600701	10274592,6
11583909,01	11035671	10889837	10602385	10276347,2
11602688,07	11049233	10896785	10608387	10282839,3
11612536,29	11056196	10900239	10611133	10285731,6
11618978,86	11059903	10902015	10612341	10286462,8
600 mM	650 mM	700 mM	750 mM	800 mM

10373255,49	10395572,63	10095594,72	10309418	10031858
10382865,44	10400344,85	10094042,34	10319431	10031047
10389873	10403972,94	10098053,82	10321052	10032990
10390275,11	10405469,58	10099406,13	10321387	10033779
10390919,18	10406133,47	10099090,39	10322366	10034434
850 mM	900 mM	950 mM	1000 mM	
9953851	9854574	9919012,962	9945087	
9955293	9857834	9918235,814	9945721	
9958215	9861181	9923046,097	9947421	
9959100	9862793	9924287,077	9948660	
10406133	9863792	9927358,044	9949661	





**KEMENTERIAN AGAMA RI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI (UIN)
MAULANA MALIK IBRAHIM MALANG
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI**

Jl. Gajayana No. 50 Dinoyo Malang (0341) 551345 Fax. (0341) 572533

BUKTI KONSULTASI SKRIPSI

Nama : Arum Sinda Santika
NIM : 14640040
Fakultas/ Jurusan : Sains dan Teknologi/ Fisika
Judul Skripsi : Karakterisasi Sensor QCM dengan Pelapisan Bahan Aktif Membran Lipid *Oleic Acid* pada Respon Elektroda Perak Terhadap HCl
Pembimbing I : Dr. Imam Tazi, M. Si
Pembimbing II : Drs. Abdul Basid, M.Si

No	Tanggal	HAL	Tanda Tangan
1	20 Januari 2018	Konsultasi Bab I, II, dan III	
2	03 Februari 2018	Konsultasi Bab I, II, III dan ACC	
3	01 Oktober 2018	Konsultasi Kajian Agama Bab I dan II	
4	08 Agustus 2018	Konsultasi Data Hasil Bab IV	
5	03 September 2018	Konsultasi Bab IV	
6	01 Oktober 2018	Konsultasi Kajian Agama Bab I, II, dan IV	
7	24 September 2018	Konsultasi Bab V	
8	03 Oktober 2018	Konsultasi Kajian Agama dan ACC	
9	27 September 2018	Konsultasi Semua Bab, Abstrak dan ACC	

Malang, 07 November 2018
Mengetahui,
Ketua Jurusan Fisika,

Drs. Abdul Basid, M.Si
NIP. 19650504 199003 1 003